

ANA LIZETE ROCHA

**CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL, HIDROGEOLÓGICA
E GEOQUÍMICA DOS DEPÓSITOS ALUVIONARES DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PEQUENO
REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA - PR**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre ao Curso de Pós-Graduação em Geologia Ambiental, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Comissão de Orientação:

Orientador Principal:

Prof. Dr. André Virmond Lima Bittencourt

Co-orientadores:

Prof. Dr. Riad Salamuni

Prof. Dr. Francisco José Fonseca Ferreira

CURITIBA

1996

ANA LIZETE ROCHA

**CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL, HIDROGEOLÓGICA E GEOQUÍMICA DOS
DEPÓSITOS ALUVIONARES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PEQUENO
REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA-PR**

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração Geologia Ambiental, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

**Orientador : Prof.Dr. André Virmond Lima Bittencourt
Departamento de Geologia , UFPR
Curitiba-PR**

**Prof. Dr. Uriel Duarte
Universidade de São Paulo, USP
São Paulo-SP**

**Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani
Departamento de Geologia , UFPR
Curitiba-PR**

Curitiba, 19 de junho de 1996

*A D. Elci, por sempre haver acreditado no meu trabalho e me feito seguir em frente, mesmo nas horas
mais difíceis.*

Ao Luiz, pelo seu carinho, amor, paciência e por haver sido sempre um exemplo de amor à geologia.

Ao Danilo, meu irmão (in memoriam)

Aos meus filhos Lucas (in memoriam) e Bernardo.

A minha mãe, Maria de Lourdes.

AGRADECIMENTOS

Um projeto nunca é fruto de uma só pessoa mas sim o resultado da disposição de pessoas que nos ajudam a concretizá-lo. Acredito realmente haver sido abençoada por Deus por sempre haver existido pessoas disponíveis para me ajudar a solucionar todo e qualquer problema surgido no andamento deste trabalho.

Assim, aproveito esta oportunidade para agradecer a todas estas pessoas e entidades que, de uma forma ou de outra, possibilitaram a realização deste trabalho:

À Companhia de Saneamento do Paraná , pelo financiamento integral do Projeto Aluvião.

Ao professor André Virmond Lima Bittencourt pela sua orientação, sugestões, constante auxílio e precioso estímulo.

Ao geólogo Álvaro Amoretti Lisboa, pela ajuda inestimável em grande parte deste trabalho, pela nova visão de aproveitamento dos recursos hídricos, pelo acompanhamento nos trabalhos de campo e pelos valiosos ensinamentos de hidrogeologia.

Aos colegas da pós-graduação, em especial ao José Urroz Lopes, João Nogueira, Elaine Bonacim, Andréa Elisa e ao Tony, pelas ajudas diretas e indiretas, pelas angústias e alegrias divididas.

Às bibliotecárias Eliane e Milena da Biblioteca do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná e a Maria de Lourdes e Wally da Biblioteca do Centro de Estudos de Hidráulica do Paraná.

À MINERAIS DO PARANÁ, na pessoa do geólogo Tadeu Cava e a José Langner pela digitalização dos mapas.

Aos geólogos do Instituto Ambiental do Paraná por sempre se colocarem a disposição nos momentos de dúvida e ao engenheiro Eugênio Meister por ter executado o levantamento plani-altimétrico dos piezômetros no teste de bombeamento da cava.

Ao pessoal da SANEPAR , os colegas Adriano, Ester, Marcos, Adalberto, Erivelton pela ajuda nos trabalhos de campo e também de escritório. À geóloga Jurema Feltrin, pelo impulso inicial ao Projeto Aluvião dentro da SANEPAR. A Carla, Vera, Verinha e Rui pelo apoio na Gerência de Recursos Hídricos. À equipe de sondadores João, Manoel, Zé di Paula e Afonso pelo acompanhamento nos trabalhos de campo.

Ao químico Osnildo Kosel, pela realização das análises químicas no Laboratório da Companhia Paranaense de Energia.

Ao Luiz Fornazzari e ao Normando Zitta Jr. pelo auxílio nos desenhos.

Ao professor Francisco Ferreira pelas preciosas discussões no desenvolvimento do trabalho.

Ao professor Ernani Francisco da Rosa Filho pelo incentivo inicial e também pelas críticas e discussões , rigorosamente seguidas durante a execução do projeto.

Ao professor e amigo, Eduardo Salamuni , pelo exemplo de profissionalismo e metodologia de trabalho e por estar sempre "disponível".

À HIDROTEC Geólogos Consultores, pelo suporte técnico, muitas vezes financeiro, e pelas repetidas ausências que impus aos colegas de trabalho.

À Elisabeth Monastier, pela ajuda em "doses homeopáticas".

Agradeço especialmente aquele que é, sem dúvida, meu exemplo não só de um grande geólogo mas de ser humano e quem tenho a honra de trabalhar lado a lado nestes últimos anos: Riad Salamuni.

Por fim , meu carinho especial as pessoas do meu cotidiano: Regina, Elgson, Solange e a Catarina , às quais ,conscientemente ou inconscientemente, impus minhas dificuldades, meus temores e nem sempre minhas alegrias.

SUMÁRIO

| | Pag |
|--|------|
| LISTA DE FIGURAS | iv |
| LISTA DE FOTOGRAFIAS | vi |
| LISTA DE GRÁFICOS | vi |
| LISTA DE TABELA | vii |
| ABSTRACT | viii |
| RESUMO | ix |
| | |
| 1. INTRODUÇÃO | 01 |
| 1.1 Considerações Gerais | 01 |
| 1.2 Objetivos | 03 |
| 1.2.1 Gerais | 04 |
| 1.2.2 Específicos | 04 |
| 1.3 Área de Estudo | 04 |
| 1.3.1 Localização e Vias de Acesso | 05 |
| | |
| 2. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA | 08 |
| | |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 13 |
| 3.1 Delimitação do Objeto | 13 |
| 3.2 Métodos | 14 |
| 3.3 Trabalhos de escritório | 16 |
| | |
| 4. GEOLOGIA REGIONAL | 18 |
| 4.1 Trabalhos Anteriores | 21 |
| 4.1.1 Complexo Gnáissico-Migmatítico | 21 |
| 4.1.2 Rochas Graníticas Intrusivas da Serra do Mar | 23 |
| 4.1.3 Rochas Intrusivas Básicas | 24 |
| 4.1.4 Formação Guabirotuba | 25 |
| 4.1.5 Aluviões Holocênicos | 27 |
| | |
| 5. GEOMORFOLOGIA | 30 |
| | |
| 6. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO | 37 |

| | |
|--|-----|
| 6.2 Atividades Minerárias | 37 |
| 6.3 Uso dos Depósitos Aluvionares | 40 |
| 6.3.1 Considerações Iniciais | 40 |
| 6.3.2 Aspectos Sociais e Ambientais | 42 |
| 6.3.3 Aspectos Legais | 47 |
| 6.3.4 Situação Atual dos Depósitos de Areia | 48 |
| 7. SISTEMA AQUÍFERO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PEQUENO | 51 |
| 7.1 Delimitação da Área Principal | 53 |
| 7.2 Caracterização do Aquífero Aluvionar | 54 |
| 7.3 Piezometria da Área | 58 |
| 7.3.1 O Canal Extravasador do Rio Iguaçu | 62 |
| 7.4 Avaliação dos Parâmetros Hidrogeológicos | 75 |
| 7.4.1 Fundamentos Básicos | 75 |
| 7.4.2 Tratamento Matemático dos Dados | 77 |
| 7.4.3 Obtenção dos Dados | 79 |
| 7.4.4 Avaliação da Permeabilidade | 94 |
| 7.4.5 Estimativa da Reserva de Água | 96 |
| 7.4.6 Conclusões Gerais Sobre Os Resultados Obtidos | 99 |
| 8. MEIO FILTRANTE | 101 |
| 9. GEOQUÍMICA AMBIENTAL | 107 |
| 9.1 Situação do Problema | 107 |
| 9.2 Geoquímica das Paisagens | 108 |
| 9.2.1 Áreas Drenadas | 111 |
| 9.2.2 Áreas Não Drenadas | 114 |
| 9.3 Caracterização Geral dos Elementos nas Paisagens | 117 |
| 9.3.1 Vegetação | 117 |
| 9.3.2 Materiais de Cobertura | 120 |
| 9.4 Hidrosfera | 124 |
| 9.4.1 Metodologia | 124 |

| | |
|---|-----|
| 9.4.2 Avaliação da Consistência das Análises | 126 |
| 9.4.3 Determinação da Especiação Química | 126 |
| 9.4.4 Caracterização Química das Águas | 128 |
| 9.4.5 Índice de Qualidade das Águas | 135 |
| 9.5. Fluxos Geoquímicos | 138 |
| 9.6. Barreiras Geoquímicas | 141 |
| 10. RECUPERAÇÃO E MANEJO DA PLANÍCIE ALUVIONAR DO RIO PEQUENO | 144 |
| 10.1 Concepção Geral | 145 |
| 10.2 A Utilização em outros Países | 147 |
| 11. CONCLUSÕES | 150 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 153 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pag. |
|--|------|
| 1- Localização da bacia do rio Pequeno, Município de São José dos Pinhais e Região Metropolitana de Curitiba | 07 |
| 2- Mapa de Pontos do Projeto Aluviões | 17 |
| 3- Mapa Geológico - Estrutural da bacia hidrográfica do rio Pequeno | 20 |
| 4- Cartograma mostrando a declividade da Bacia do Rio Pequeno | 35 |
| 5- Cartograma mostrando áreas alagáveis, com altíssimos riscos de inundação | 39 |
| 6- Morfologia das cavas | 35 |
| 7- Correlação dos furos de sondagem na bacia do rio Pequeno, mostrando a espessura média de areia | 56 |
| 8- Localização dos piezômetros segundo as coordenadas UTM | 59 |
| 9- Modelo digital da superfície topográfica da região onde foram instalados os piezômetros | 65 |
| 10- Direção do fluxo do lençol freático após período de intensidade média de precipitação de chuvas. | 66 |
| 11- Direção do fluxo do lençol freático após período bastante chuvoso | 67 |
| 12- Direção do fluxo do lençol freático após período com pouca chuva | 68 |
| 13- Direção do fluxo do lençol freático após período de estiagem | 69 |
| 14- Esquema das duas cavas utilizadas para o teste com os piezômetros no dique de areia | 80 |
| 15- Curva dos poços de observação PZA, PZB e PZC definidas em gráfico com escala logarítmica | 85 |
| 16- Projeto construtivo do poço produtor | 88 |
| 17- Distância dos piezômetros em relação ao poço produtor | 91 |
| 18- Curva dos poços de observação PZ01, PZ02, PZ03 e PZ04 definidas em gráfico com escala logarítmica | 93 |
| 19- Associações interativas entre os diferentes meios de um ecossistema | 109 |
| 20- Prisma de paisagem eluvial ilustrativo | 112 |
| 21- Solos da bacia do rio Pequeno | 113 |
| 22- Prisma ilustrativo de paisagem supra aqual | 114 |
| 23- Prisma ilustrativo de paisagem supra aqual das áreas não drenadas | 115 |
| 24- Prisma ilustrativo de paisagem aqual | 116 |
| 25- Bloco diagrama ilustrativo das células elementares das paisagens | 116 |
| 26- Perfil tipo do depósito de turfa | 120 |
| 27- Diagrama de Piper representando os diferentes pontos de amostragem de água | 131 |
| 28- Campo de estabilidade da gipsita em função da temperatura e do produto da atividade | 132 |
| 29- Diagrama de Khorzinski para os domínios de estabilidade dos minerais de Ca a 25°C | 133 |
| 30- Diagrama de Khorzinski para os domínios de estabilidade dos minerais de K a 25°C | 133 |
| 31- Diagrama de Khorzinski para os domínios de estabilidade dos minerais de Na a 25°C | 134 |
| 32- Diagrama da estabilidade da sílica em função da temperatura | |

| | |
|---|-----|
| e concentração | 135 |
| 33- Sistema piloto de manejo das cavas para fins de abastecimento público | 146 |

LISTA DE FOTOGRAFIAS

| | Pag. |
|--|------|
| 1- Foto do mapa da bacia do Alto Iguaçu, mostrando extensão regional dos depósitos aluvionares | 29 |
| 2- Vista geral da região das cavas na confluência do rio Iguaçu com o Pequeno | 36 |
| 3 Aspecto da ocupação urbana, distante cerca de 200 metros da Estação de Captação da SANEPAR. | 38 |
| 4- Extração de areia na planície do rio Pequeno | 39 |
| 5- Utilização das cavas na planície do rio Pequeno. | 39 |
| 6- Cavas utilizadas para bombeamento com o dique de areia no centro | 81 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | Pag |
|--|-----|
| 1- Distribuição de chuvas no período de junho de 1994 a junho de 1995. | 12 |
| 2- Distribuição de chuvas durante o mês de janeiro de 1995. | 12 |
| 3- Comportamento do lençol freático no período entre 12/12/94 e 03/01/95 | 70 |
| 4- Comportamento do lençol freático no período entre 31/01e22/021/95 | 71 |
| 5- Comportamento do lençol freático no período entre 02/03 e 30/03/95 | 72 |
| 6- Histograma de chuvas nos meses de abril, maio e junho de 1995 | 73 |
| 7- Comportamento do lençol freático no período entre 06/04 e30/06/95 | 74 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| 1- Valores médios máximos e mínimos de temperatura no período 1986-1995 | 09 |
| 2- Dados médios de umidade relativa do ar no período 1986-1995 | 10 |
| 3- Dados de pluviometria da Estação Fazendinha | 11 |
| 4- Volume de areia, em m ³ , oficialmente extraído no município de São José dos Pinhais nos últimos 5 anos. | 49 |
| 5- Quantidade de argila, em toneladas, oficialmente extraído no município de São José dos Pinhais nos últimos 5 anos. | 50 |
| 6- Volume de areia, em m ³ , oficialmente extraído no município de Curitiba nos últimos 5 anos. | 50 |
| 7- Quantidade de argila, em toneladas, oficialmente extraído no município de Curitiba nos últimos 5 anos | 50 |
| 8- Evolução do nível dinâmico nas cavas durante o ensaio de bombeamento | 83 |
| 9- Evolução do nível dinâmico e rebaixamento nos piezômetros | 84 |
| 10- Evolução do nível dinâmico nos piezômetros A, B e C (através das cotas absolutas) | 84 |
| 11- Comportamento dos piezômetros no início do desenvolvimento | 87 |
| 12- Teste de bombeamento realizado no poço produtor de 04 polegadas | 89 |
| 13- Medidas realizadas nos piezômetros durante o teste do poço produtor de 4 polegadas. | 90 |
| 14- Dados utilizados na obtenção dos parâmetros hidráulicos | 92 |
| 15- Cálculo dos parâmetros através do Método de Theis | 92 |
| 16- Valores obtidos para os ensaios granulométricos realizados com material coletado no "meio filtrante" | 104 |
| 17- Amostragem bacteriológica nos piezômetros instalados no "meio filtrante" (após 24 horas de bombeamento) | 104 |
| 18- Amostragem bacteriológica 10 dias após o teste de bombeamento, executada durante os trabalhos de extração de areia | 105 |
| 19- Materiais terrosos e granulares agrupados de acordo com a intensidade e estágio de atuação dos processos pedogenéticos | 121 |
| 20- Tabela descritiva dos pontos amostrados | 125 |
| 21- Valores das constantes a, b, c e a ⁰ _i | 127 |
| 22- Parâmetros obtidos através das análises químicas | 129 |
| 23- Classificação das águas com base no Diagrama de Piper | 130 |
| 24- Valores dos índices para a área do Parque-Iguaçu-Raia Olímpica (Lago 07) | 135 |
| 25- Valores dos índices para área do Parque Iguaçu-Cavas Interligadas (Lago 02) | 135 |

ABSTRACT

The results of the studies performed in one of the micro-basins of the Iguaçu River, specifically the rio Pequeno, are gathered in this paper. They aim to a better understanding and knowledge of the alluvial deposits and their capacity of fresh water public supply.

The existence of hydrologic data comprising a period between, 8 and 10 years, as well as drillings performed by the CPRM indicating a considerable thickness of the alluvial deposits and the fact that the Sanepar Water Plant is situated in the northwestern limit of the basin, were important factors in this choice.

In this micro-basin these deposits have an extension of about 25 km, while it's width is about 4 Km up-stream to 0.5 Km down stream.

The alluvial deposits are mainly inconsolidated sand and gravel sediments, with small amounts of clay beds, lying unconformably on the gneissic-migmatitic basement, with a maximum thickness of 7 meters. Granulometry varies from fine to coarse grain, and the stratification is a parallel to a subparallel one.

In the alluvial plain of the high Iguaçu there are many extractive activities, mainly sands, used in civil buildings. The areas that were already explored and those under exploration are very similar, standing out because of the great number of diggins filled with water, with irregular sizes and shapes.

There is a general assent between the local populations that these areas behave as big trash deposits owing to the institutional abandonment of the same. As a matter of fact this population contributes to make worse the problem.

This study shows up that notwithstanding the environmental degradation, these diggins because of their hidrogeological and geochemical features, may serve as water reservoirs to help in the water supply of the Curitiba Metropolitan Region.

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados dos estudos realizados em uma micro-bacia do rio Iguaçu, representada especificamente pela micro-bacia do rio Pequeno, localizada no Município de São José dos Pinhais, na Região Metropolitana de Curitiba, visando a caracterização ambiental, hidrogeológica e geoquímica dos depósitos aluvionares desta com fins de abastecimento público.

A existência de dados hidrológicos nos últimos 08 a 10 anos de dados, sondagens realizadas pela COMPANHIA DE RECURSOS E PESQUISAS MINERAIS indicando uma espessura considerável dos aluviões na região, além do fato da Estação de Captação da SANEPAR estar situada no limite noroeste da bacia foram fatores importantes na seleção da área objeto da pesquisa.

Na citada micro-bacia, os depósitos aluvionares exibem uma extensão de cerca de 25 km, enquanto que suas larguras variam entre 0,5 e 4 km nos trechos a montante e a jusante, respectivamente.

Os aluviões são compostos por depósitos de areia e cascalhos mal-selecionados, intercalados por camadas de argilas, assentando em discordância sobre o embasamento gnáissico-migmatítico, com espessura máxima de 07 metros. A granulação varia de fina a grosseira com estratificação horizontal a sub-horizontal.

Na planície aluvionar de todo o Alto Iguaçu ocorrem atividades de extração de areias utilizadas para construção civil há cerca de 50 anos, sem nunca ter existido uma preocupação com a sua recuperação ambiental. As áreas lavradas, ou em processo de exploração, são similares entre si destacando-se na paisagem pela ocorrência de inúmeras cavas inundadas de água, com dimensões variáveis, separadas por estreitas ou largas faixas de terra.

Existe um consenso da população que se instalou nestes locais, gerado pelo descaso institucional, de que estas áreas são como imensos depósitos de lixo. Os moradores contribuem para o entulhamento das cavas com lixo, acreditando que o terreno poderia se tornar mais "seco".

Este estudo revelou que apesar da degradação ambiental sofrida, as cavas, por suas características hidrogeológicas e geoquímicas, podem servir como um reservatório de água complementar ao abastecimento público da cidade de Curitiba.

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A ilusão de abundância de recursos hídricos é obsoleta e ultrapassada. As atenções atuais devem estar voltadas para o manejo de tais recursos e não somente para análises qualitativas e quantitativas. O manejo implica em planejamento e implementação de políticas que envolvem a reciclagem e também a geração de abastecimentos alternativos.

Em Israel, 70% do esgoto é reciclado para a irrigação (microirrigação) e nos EUA o consumo industrial de água já diminuiu 36% desde 1950, estando estabilizado na Alemanha e Japão em função deste procedimento. Existem usinas em operação no Golfo Pérsico, Califórnia, Espanha, Malta, Austrália e no Caribe, convertendo juntas 4,8 bilhões de litros de água salgada em água doce. (ARNT, 1995).

Tais fatos mostram que no mundo inteiro existe uma consciência mais crítica com relação as reservas de água aliada a busca de formas alternativas para aliviar a pressão existente no sistema atual de abastecimento, assumindo-se que estas realmente podem se deteriorar de modo irremediável.

A região metropolitana de Curitiba, devido ao elevado crescimento demográfico dos últimos anos, vem apresentando graves problemas com relação a escassez dos recursos hídricos. Possuindo cerca de 2 milhões de habitantes, esta região revelou acentuado crescimento populacional, com uma taxa anual em torno de 4%, mas possuindo índices históricos de até 9,5% ao ano, acumulando nos últimos 10 anos um total de 54 %, enquanto que o Estado do Paraná, como um todo, cresceu apenas cerca de 12% (DALARMI,1995).

Com relação ao abastecimento de água o município de Curitiba apresenta hoje um déficit entre 20% e 25% do volume de água distribuída em relação à atual demanda. As necessidades atuais de água são da ordem de $4,9 \text{ m}^3/\text{s}$ enquanto que uma projeção para o ano de 2015 gira em torno de $10 \text{ m}^3/\text{s}$, estimando-se um incremento de $5,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (DALARMI, *op cit*).

A população curitibana vem sofrendo devido ao tradicionalismo do pensamento técnico, isto é, falta de opções alternativas com relação ao abastecimento que possam suprir esta mesma população quando ocorrem períodos de estiagem prolongada ou mesmo de grandes enchentes.

Até hoje o único responsável pela manutenção do modelo são as unidades hidrográficas que compõem o rio Iguaçu. O aluvião, desta forma, assume um papel extremamente importante, pois, apesar de estar bastante degradado pela ação antrópica, passa a se constituir como *reserva estratégica* de abastecimento de água e devem ser estudadas maneiras de aproveitamento deste potencial.

De forma bastante positiva, mais recentemente, também vem sendo efetivados estudos pelo Grupo de Águas Subterrâneas da Universidade Federal do Paraná, no sentido de incrementar o avanço científico também em outros

aquíferos, passíveis de contribuírem consideravelmente para o abastecimento da cidade.

1.2 OBJETIVOS

A conveniência de melhor pesquisar o aquífero aluvionar da Região Metropolitana de Curitiba foi originalmente concebida pelos geólogos do Instituto Ambiental do Paraná (IAP), quando ainda faziam parte dos programas desenvolvidos pela extinta ARH (Administração de Recursos Hídricos) e, posteriormente, através da SANEPAR, com o Programa Estadual de Saneamento Rural e Programa Água da Pedra.

Com a implantação do Curso de Pós-Graduação em Geologia Ambiental, na Universidade Federal do Paraná, criou-se uma oportunidade para a criação de um centro de estudos de águas subterrâneas no Estado do Paraná.

A partir daí , este projeto foi retomado, mediante um Convênio entre a Universidade Federal do Paraná e a Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR, para que fossem gerados dados e pesquisas que possibilitassem uma visão sistêmica do referido aquífero.

Isto posto , buscou-se estudar uma micro-bacia do rio Iguaçu, representada especificamente pela micro-bacia do rio Pequeno, com a finalidade de atender aos seguintes objetivos:

1.2.1 GERAIS

- Implementação de uma metodologia de prospecção em áreas aluvionares, junto à Gerência de Hidrogeologia da SANEPAR;
- Integração da UFPR com a SANEPAR, através do Curso de Pós-Graduação em Geologia Ambiental, particularmente com o setor de Hidrogeologia.

1.2.2 ESPECÍFICOS

- Melhor conhecimento dos aspectos ambientais relacionados ao aquífero aluvionar;
- Obtenção de dados com relação à capacidade de exploração do mesmo;
- Estimativa dos parâmetros hidráulicos;
- Caracterização geológica dos depósitos;
- Grau de vulnerabilidade deste aquífero.

1.3 ÁREA DE ESTUDO

Em função da avançada degradação , praticamente irrecuperável, de grande parte da planície aluvionar do rio Iguaçu , procurou-se selecionar áreas em que as

condições naturais do meio estivessem preservadas, além de configurarem espessuras razoáveis das camadas arenosas.

A micro-bacia do Rio Pequeno foi pré-selecionada pela Divisão de Estudos de Hidrogeologia da SANEPAR, como uma das áreas alvo do Projeto Aluviões.

A existência de dados hidrológicos abrangendo de 08 a 10 anos de dados, as sondagens realizadas pela COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS indicando uma espessura considerável dos aluviões na mesma região, além do fato da Estação de Captação da SANEPAR estar situada no limite noroeste da bacia foram fatores importantes nesta escolha.

Definida a área piloto, foi feito o reconhecimento preliminar do sistema maior no qual os depósitos aluvionares estão inseridos. Para tanto, procedeu-se à delimitação da micro bacia hidrográfica do rio Pequeno e, dentro desta, a situação dos referidos depósitos.

Na citada micro-bacia, estes depósitos têm uma extensão de cerca de 25 km enquanto que suas larguras variam entre 0,5 e 4 km nos trechos a montante e a jusante respectivamente.

1.3.1 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área compreendida pela micro-bacia do rio Pequeno está situada no Município de São José dos Pinhais, na Região Metropolitana de Curitiba.

Limita-se ao norte pela micro-bacia do rio Itaquí; ao sul pela bacia do rio Miringuava; a leste, pelo relevo montanhoso da Serra do Mar e a oeste pela zona urbana de São José dos Pinhais (Figura 1).

O rio Pequeno, afluente da margem esquerda do rio Iguaçu, tem como afluentes menores os rios Purgatório e Charqueadas.

O principal acesso à área é feito através da Rodovia BR-277, a qual pode também ser alcançada pela Avenida das Torres, no sentido Curitiba-Joinville.

As áreas de detalhamento estão localizadas próximas à Estação de Captação da SANEPAR, na ponte da BR-277, confluência dos rios Pequeno e Iguaçu.

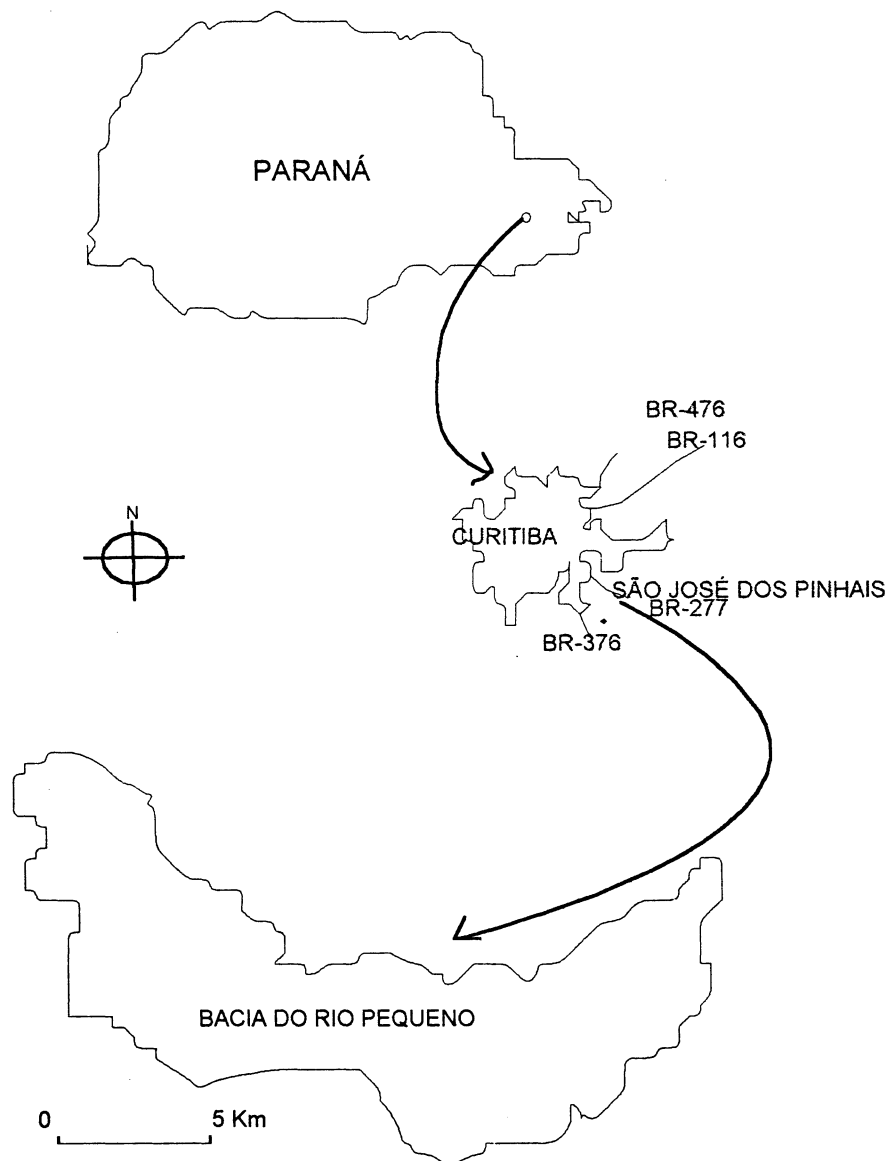


FIGURA 01
LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PEQUENO, MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS
PINHAIS E REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA.

2.0 CARATERIZAÇÃO CLIMÁTICA

O clima geral é do tipo Cfb, subtropical úmido, mesotérmico, de verões frescos e com ocorrência de geadas no inverno, não apresentando estação seca. Fevereiro é o mês mais quente com temperatura média de 21°C, enquanto que julho é o mês mais frio, com média de 13°C (Tabela 01). A umidade média do ar é de aproximadamente 73% (Tabela 02).

A distribuição de chuvas no Paraná mostra relativa regularidade, de modo que há uma concentração de chuvas no trimestre dezembro, janeiro e fevereiro e um período menos chuvoso em junho, julho e agosto (Gráfico 01).

A precipitação média anual da região é de 1440mm, com um máximo de 1836mm em 1983 e um mínimo de 982mm em 1985, segundo dados obtidos pela Estação Fazendinha (Tabela 03).

No ano de 1983 os meses mais chuvosos foram junho e julho, totalizando 510 mm, sendo que este fenômeno foi causado por uma anomalia climática na região, através dos eventos "Oscilação do Sul - El Niño" abrangendo todo o planeta e mostrando certa persistência, conforme descrito no trabalho "As enchentes de jul/83 e a busca de soluções" (1984) desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Neste aspecto, o ano de 1983 apresentou-se com condições excepcionais devido às frentes frias que, de modo geral, ultrapassam o trópico alcançando os

estados do sudeste e algumas vezes a planície amazônica, determinando chuvas e queda de temperatura. Naquele ano, em particular, as frentes não atingiram estas regiões durante o referido período, enquanto que no sul do Brasil, ocorriam chuvas torrenciais como aquelas registradas em Porto União (SC) no mês de julho 800,6 mm de acordo com os dados apresentados no trabalho referido anteriormente.

Em 1995, o total de chuvas, somente no mês de janeiro, foi de 528 mm (Gráfico 02) correspondendo a cerca de 37% da média anual.

Em julho do mesmo ano, voltou a chover intensamente na região de Curitiba, alcançando 81 mm (Jornal Gazeta do Povo, 9/07/95), a segunda maior marca do mês nos últimos 60 anos, somente ultrapassada pela precipitação do dia 4 de julho de 1965, que alcançou 86mm.

Estes fenômenos de precipitações intensas, condicionados a estas anomalias climáticas, são agravados nas áreas de risco pela ocupação inadequada do meio físico.

TABELA 01
VALORES MÉDIOS MÁXIMOS E MÍNIMOS DE TEMPERATURA NO PERÍODO 1986-1995

| MÊS/ ANO | 1986 | | 1987 | | 1988 | | 1989 | | 1990 | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min |
| Jan | 28,00 | 16,80 | 27,50 | 17,60 | 28,70 | 17,60 | 25,10 | 16,80 | 25,30 | 17,10 |
| Fev | 26,20 | 17,20 | 25,60 | 16,50 | 23,80 | 16,10 | 25,60 | 16,60 | 26,80 | 16,40 |
| Mar | 25,30 | 16,10 | 25,80 | 14,30 | 26,50 | 16,20 | 24,70 | 16,00 | 26,30 | 17,10 |
| Abr | 23,80 | 15,10 | 23,50 | 15,30 | 22,10 | 14,20 | 23,90 | 14,90 | 24,40 | 15,50 |
| Maio | 21,40 | 12,60 | 18,50 | 9,50 | 18,30 | 10,40 | 19,40 | 10,20 | 20,00 | 9,10 |
| Jun | 20,60 | 8,40 | 19,50 | 6,70 | 17,70 | 7,60 | 18,30 | 9,30 | 18,80 | 8,70 |
| Jul | 18,70 | 8,70 | 22,40 | 10,90 | 17,10 | 6,90 | 18,50 | 6,10 | 16,10 | 7,80 |
| Ago | 20,90 | 10,10 | 19,20 | 8,50 | 21,60 | 9,00 | 19,80 | 8,80 | 18,50 | 8,40 |
| Set | 20,00 | 11,20 | 19,40 | 9,90 | 22,30 | 11,40 | 19,20 | 10,40 | 19,30 | 9,40 |
| Out | 22,90 | 11,70 | 22,40 | 12,50 | 21,20 | 12,10 | 20,60 | 10,60 | 23,40 | 14,20 |
| Nov | 24,80 | 14,70 | 24,20 | 14,00 | 23,70 | 13,40 | 23,30 | 13,30 | 25,50 | 16,30 |
| Dez | 25,00 | 11,70 | 25,80 | 15,80 | 25,70 | 15,30 | 23,50 | 15,30 | 25,10 | 15,50 |
| Média | 23,13 | 12,86 | 22,82 | 12,63 | 22,39 | 12,52 | 21,83 | 12,36 | 22,46 | 12,30 |

(Continuação da tabela 01)

| MÊS/ ANO | 1991 | | 1992 | | 1993 | | 1994 | | 1995 | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min |
| Jan | 25,20 | 15,50 | 26,60 | 16,20 | 26,90 | 17,00 | 24,60 | 15,60 | 26,90 | 18,10 |
| Fev | 25,70 | 15,50 | 26,40 | 17,00 | 24,40 | 16,30 | 27,80 | 17,90 | 25,10 | 17,00 |
| Mar | 23,50 | 16,00 | 24,90 | 16,20 | 25,10 | 16,40 | 24,10 | 15,40 | 24,10 | 15,40 |
| Abr | 22,70 | 13,60 | 22,60 | 13,00 | 24,00 | 15,00 | 22,40 | 14,30 | 23,50 | 12,40 |
| Mai | 20,80 | 11,40 | 20,00 | 12,50 | 20,00 | 10,90 | 21,30 | 12,80 | 20,40 | 10,20 |
| Jun | 19,60 | 9,70 | 20,80 | 11,90 | 18,50 | 8,50 | 19,10 | 8,00 | | |
| Jul | 19,20 | 7,70 | 17,00 | 8,70 | 19,40 | 8,70 | 20,30 | 9,20 | | |
| Ago | 20,40 | 9,70 | 17,70 | 8,30 | 19,90 | 8,20 | 20,60 | 8,70 | | |
| Set | 21,20 | 10,70 | 19,20 | 11,70 | 19,10 | 11,00 | 23,30 | 12,00 | | |
| Out | 22,40 | 13,20 | 22,80 | 12,70 | 23,50 | 13,70 | 23,60 | 13,60 | | |
| Nov | 24,50 | 15,00 | 23,50 | 13,10 | 26,80 | 15,20 | 24,60 | 14,60 | | |
| Dez | 26,90 | 16,20 | 25,00 | 14,70 | 25,10 | 16,50 | 26,60 | 16,70 | | |
| Média | 22,68 | 12,85 | 22,21 | 13,00 | 22,73 | 13,12 | 23,19 | 13,23 | | |

FONTE: IPARDES/INEMET, ESTAÇÃO PIRAQUARA

TABELA 02
DADOS MÉDIOS DE UMIDADE RELATIVA DO AR (%) NO PERÍODO 1986-1995

| ANO/ MÊS | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | Méd |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Jan | 79,80 | 81,70 | 81,10 | 84,40 | 87,10 | 82,90 | 78,30 | 83,00 | 84,10 | 85,90 | 82,83 |
| Fev | 85,50 | 85,70 | 87,10 | 86,40 | 79,10 | 82,10 | 82,10 | 87,00 | 83,20 | 87,20 | 84,54 |
| Mar | 84,70 | 81,10 | 83,30 | 86,50 | 86,00 | 86,70 | 85,80 | 86,00 | 84,20 | 85,50 | 84,98 |
| Abr | 86,30 | 87,30 | 87,90 | 84,70 | 85,90 | 85,50 | 82,30 | 86,00 | 86,00 | 80,70 | 85,26 |
| Mai | 88,10 | 87,20 | | 87,00 | 81,40 | 84,60 | 86,40 | 85,00 | 86,80 | 84,80 | 77,13 |
| Jun | 81,00 | 80,50 | 83,60 | 86,80 | 82,80 | 83,40 | 83,50 | 85,00 | 82,20 | | 74,88 |
| Jul | 83,50 | 75,40 | 79,70 | 79,10 | 85,20 | 76,30 | 84,20 | 78,00 | 75,90 | | 71,73 |
| Ago | 79,70 | 78,00 | 74,70 | 80,60 | 81,20 | 82,20 | 87,30 | 75,00 | 72,60 | | 71,13 |
| Set | 83,80 | 83,10 | 76,90 | 83,70 | 80,50 | 82,50 | 86,10 | 87,00 | 75,30 | | 73,89 |
| Out | 77,50 | 83,50 | 83,90 | 81,50 | 83,60 | 80,30 | 81,20 | 83,00 | 82,50 | | 73,70 |
| Nov | 80,10 | 80,30 | 77,80 | 78,20 | 85,50 | 79,10 | 83,30 | 75,00 | 80,60 | | 71,99 |
| Dez | 85,50 | 81,50 | 81,60 | 85,20 | 80,50 | 78,30 | 78,80 | 83,00 | 82,20 | | 73,66 |
| Méd | 82,96 | 82,11 | 74,80 | 83,68 | 83,23 | 81,99 | 83,28 | 82,75 | 81,30 | | 73,61 |

FONTE: IPARDES/INEMET, ESTAÇÃO PIRAQUARA

TABELA 03
DADOS DE PLUVIOMETRIA (mm)

| MÊS/ ANO | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | MÉDIA |
|-------------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| JAN | 162,60 | 229,00 | 64,60 | 248,60 | 96,20 | 133,40 | 223,80 | 244,60 | 150,80 | 107,40 | 264,40 | 116,00 | |
| FEV | 126,80 | 31,40 | 236,00 | 155,00 | 228,80 | 129,20 | 95,60 | 178,80 | 69,60 | 176,00 | 145,60 | 214,80 | 170,12 |
| MAR | 90,80 | 155,00 | 106,40 | 138,00 | 30,80 | 190,60 | 158,80 | 125,60 | 199,80 | 251,60 | 139,00 | 77,80 | 148,97 |
| ABR | 175,60 | 120,20 | 94,60 | 98,30 | 163,20 | 100,00 | 145,20 | 168,00 | 62,40 | 22,20 | 58,40 | 79,00 | 138,68 |
| MAI | 268,60 | 147,40 | 29,80 | 101,80 | 293,40 | 268,00 | 112,00 | 79,80 | 52,40 | 250,00 | 152,00 | 88,00 | 107,26 |
| JUN | 206,20 | 144,80 | 36,00 | 5,60 | 148,00 | 72,00 | 43,80 | 99,80 | 114,60 | 48,60 | 86,00 | 97,00 | 153,60 |
| JUL | 304,60 | 61,60 | 37,80 | 34,90 | 38,20 | 13,20 | 166,00 | 247,60 | 3,00 | 169,30 | 119,80 | 115,40 | 91,87 |
| AGO | 0,00 | 171,80 | 4,20 | 108,50 | 57,00 | 14,20 | 35,60 | 139,40 | 68,00 | 133,20 | 21,80 | 5,80 | 109,28 |
| SET | 207,00 | 104,40 | 125,30 | 55,90 | 86,80 | 77,20 | 169,60 | 119,00 | 34,40 | 49,50 | 304,40 | 8,00 | 63,29 |
| OUT | 76,00 | 31,60 | 73,60 | 122,20 | 137,40 | 95,30 | 68,40 | 114,60 | 187,00 | 68,20 | 112,60 | 124,00 | 111,79 |
| NOV | 44,20 | 148,00 | 83,60 | 180,20 | 38,80 | 20,30 | 57,40 | 148,60 | 67,40 | 124,20 | 60,80 | 250,80 | 100,91 |
| DEZ | 173,20 | 118,80 | 90,40 | 218,20 | 170,20 | 149,40 | 171,20 | 93,00 | 133,20 | 40,00 | 106,60 | 239,40 | 102,03 |
| TOTAL | 1835,60 | 1464,00 | 982,30 | 1467,20 | 1488,80 | 1262,80 | 1447,40 | 1758,80 | 1142,60 | 1440,20 | 1571,40 | 1416,00 | 141,97 |

FONTE: ESTAÇÃO FAZENDINHA-SUREHMA/DNAEE. MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS;ALTITUDE 910m.

Distribuição de Chuvas
Jun 1994 a Jun 1995

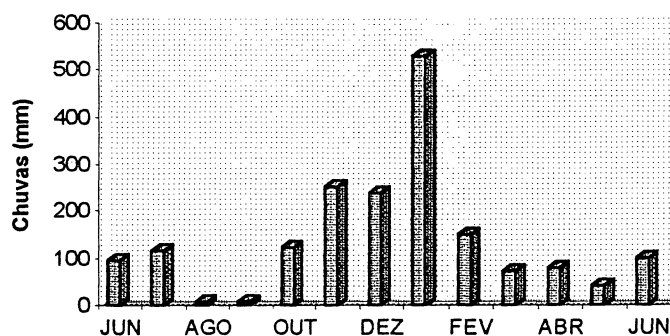


GRÁFICO 01
DISTRIBUIÇÃO DE CHUVAS NO PERÍODO DE JUNHO DE 1994 A JUNHO DE 1995.
FONTE: ESTAÇÃO FAZENDINHA-SUREHMA/DNAEE. MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS; ALTITUDE 910m.

Chuvas Diárias
(em mm)

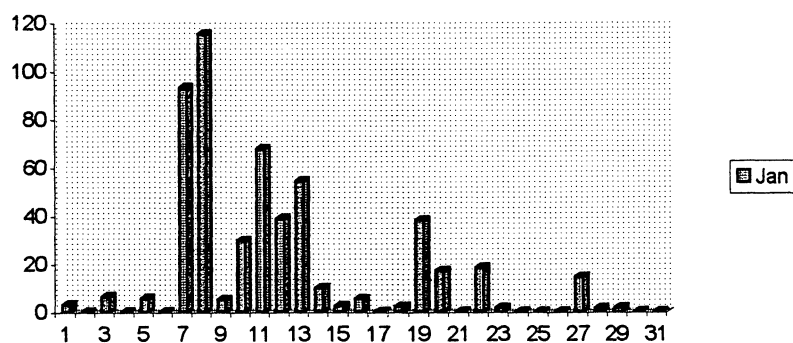


GRÁFICO 02
DISTRIBUIÇÃO DE CHUVAS DURANTE O MÊS DE JANEIRO DE 1995
FONTE: ESTAÇÃO FAZENDINHA-SUREHMA/DNAEE. MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS; ALTITUDE 910m.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DELIMITAÇÃO DO OBJETO

Para a compreensão do aquífero o estudo foi concebido segundo a noção de tempo hidrológico, ou seja, período relativo contemplando de 08 a 10 anos de uma série histórica de dados existentes, para efeitos de análise das entradas e saídas de matéria e energia do sistema.

A análise foi definida em função de dois critérios:

- a) critério estratigráfico - existência de um nível de base impermeável, ou seja , o embasamento (variando entre 4 e 5 metros)
- b) critério técnico-econômico - profundidade considerada de maior viabilidade econômica em função do tipo de perfuração realizada.

Os limites físicos de superfície para geração de dados foram aqueles coincidentes com o lençol freático ou com o limite superior da zona de saturação até os interflúvios da bacia, na zona de confluência do rio Pequeno com o rio Iguaçu.

O objetivo deste projeto desencadeou estudos subsequentes relativos aos seguintes aspectos:

- detalhamento geológico do meio que comporta o aluvião;

- avaliação da recarga do aquífero aluvionar através da quantificação das entradas e saídas do sistema;
- caracterização da qualidade química das reservas;
- estimativa dos parâmetros hidráulicos.
- determinação da direção de fluxo da água subterrânea.

3.2. MÉTODOS

A evolução e materialização para obtenção dos escopos desta dissertação envolveram as seguintes etapas:

- Pesquisa bibliográfica sobre o assunto e a região a ser analisada

A pesquisa bibliográfica reuniu artigos publicados e relatórios inéditos de naturezas diversas como hidrogeológicos, sondagens para água subterrânea, mapas geológicos e publicações genéricas sobre áreas aluvionares.

Importantes subsídios constituíram os levantamentos efetuados pela COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS (1991) para o Plano Diretor de Mineração da Região Metropolitana de Curitiba, os quais permitiram que se obtivesse uma idéia inicial acerca dos depósitos aluvionares da bacia.

Ressalta-se, também, as informações coligidas através de sondagens para água subterrânea feitas pela SANEPAR, das sondagens geomecânicas realizadas pela ENGEMIN Engenharia e Geologia Ltda, relatórios de viabilidade para água subterrânea da HIDROTEC Geólogos Consultores S/C e dos levantamentos

efetuados pela Rede Ferroviária Federal para construção da ferrovia Curitiba-Paranaguá.

- Levantamento de bases cartográficas e fotografias aéreas existentes em escalas de detalhe, semi-detalhe e regional.

Para a caracterização cartográfica foram empregados os mapas plani-altimétricos adiante relacionados nas escalas 1:10.000, 1:20.000 e 1:50.000. As fotografias aéreas utilizadas de forma efetiva foram principalmente as das escalas 1:25.000 e 1:8.000.

Os mapas plani-altimétricos da COORDENADORIA DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (COMEC) constantes das folhas SG-22-X D-1-4, SG-22-X D-IV-2, SG-22-X, na escala 1:50.000; ,A105, A142, A143, A139, A157, A158 , na escala 1:20.000 e 554,556,420, SG-22-X-D-IV , na escala 1.10.000, serviram de ponto inicial para o tratamento dos dados e para a junção dos respectivos mapas, para que fosse obtida uma base cartográfica única na qual pudessem ser registradas outras informações.

- Trabalhos de campo para :
 - cartografia hidrogeológica;
 - sondagens geofísicas (3)
 - coletas de água (16)
 - sondagens (17)
 - poços de monitoramento (11)
 - ensaios de bombeamento (02)
 - coleta para ensaios granulométricos

3.3 TRABALHOS DE ESCRITÓRIO

Os trabalhos de obtenção de dados de campo, na realidade, foram sendo feitos de forma concomitante com os trabalhos de escritório em função das limitações financeiras do projeto. Assim, os dados foram sendo gerados na medida em que durante a análise se verificava a necessidade real de novos ensaios.

A avaliação das características gerais da bacia hidrográfica do rio Pequeno foi embasada na recompilação e análise de todos os dados diretamente relacionados ao aquífero procedentes do inventário de pontos d'água, ou seja, dados oriundos de lugares onde se tem acesso direto ou indireto ao aquífero: poços, sondagens abandonadas, fontes ou surgências, escavações, áreas pantanosas e lagos (açudes), cavas da mineração de areia e monitoramento dos poços potenciométricos (Figura 02).

Em alguns pontos pré-determinados foi obtido o perfil geológico; posição do nível piezométrico e características químicas da água.

Nos locais onde foram realizados os ensaios de bombeamento, foram obtidos os volumes d'água por unidade de tempo, estando estes devidamente discriminados quanto aos seguintes aspectos :

- localização;
- dados técnicos (natureza, modo de perfuração, profundidade e diâmetro);
- dados hidrológicos (nível piezométrico e qualidade química);
- dados geológicos (perfil).

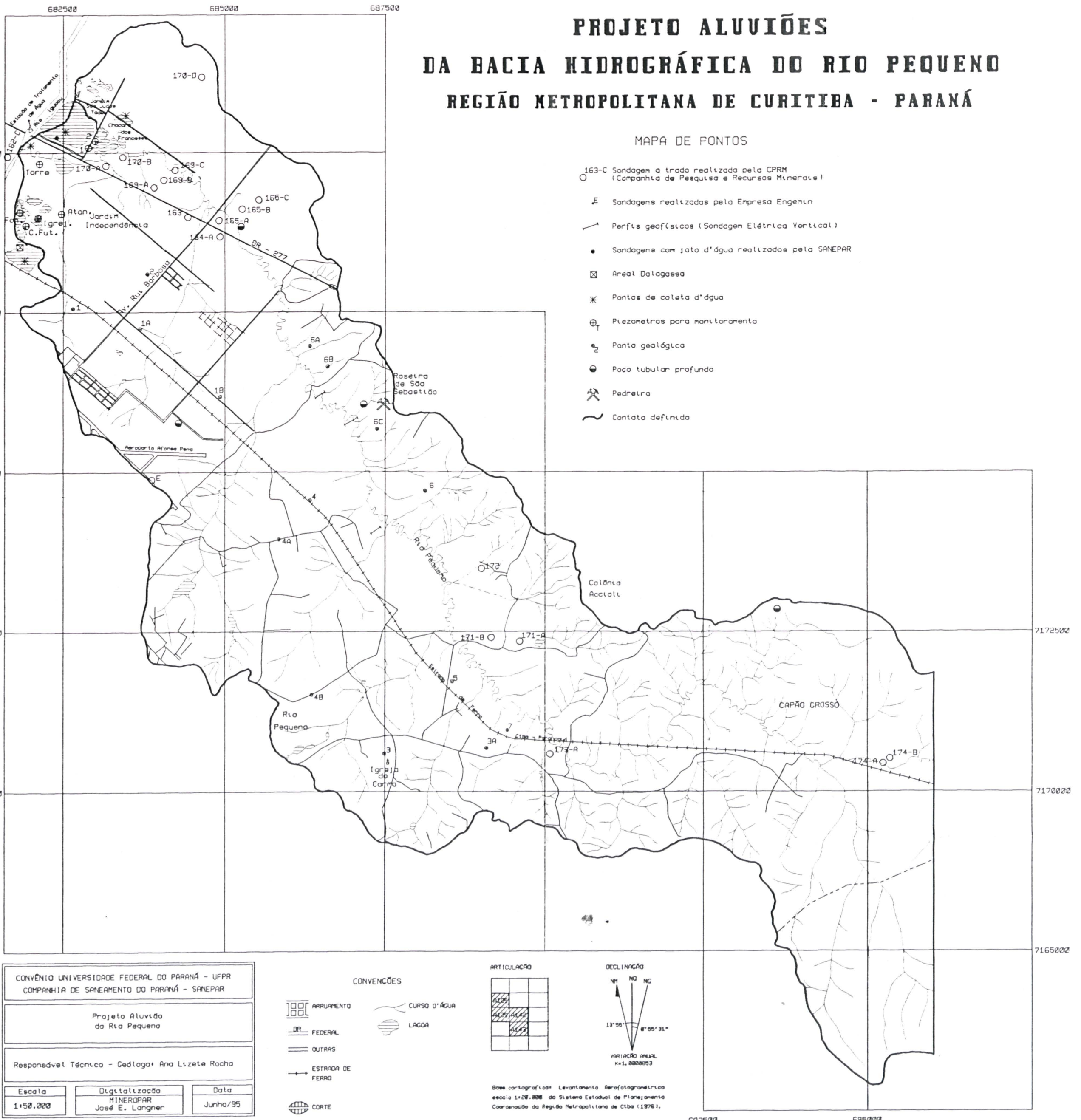
PROJETO ALUVIÕES

DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PEQUENO

REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA - PARANÁ

MAPA DE PONTOS

- 163-C Sondagem a tordo realizada pela CPRM (Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais)
- ⊕ Sondagens realizadas pela Empresa Engemim
- ↗ Perfis geofísicos (Sondagem Elétrica Vertical)
- Sondagens com jato d'água realizados pela SANEPAR
- ⊠ Areal Dalgassosa
- * Pontos de coleta d'água
- ⊕ Piezômetros para monitoramento
- ⊕ Ponta geológica
- ⊕ Poço tubular profundo
- ⊕ Pedreira
- ~ Contato definido



CONVÊNIO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - UFPR
COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR

Projeto Aluviões
do Rio Pequeno

Responsável Técnica - Geóloga Ana Lizete Rocha

Escala
1:50.000

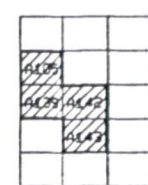
Digitalização
MINEROPAR
José E. Langner

Data
Junho/95

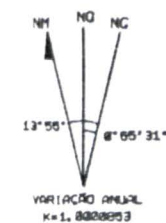
CONVENÇÕES

- ARRUAMENTO
- FEDERAL
- OUTRAS
- ESTRADA DE FERRO
- CORTE
- CURSO D'ÁGUA
- LAGOA

ARTICULAÇÃO



DECLINAÇÃO



Base cartográfica: Levantamento Aerofotogramétrico
escala 1:25.000 do Sistema Estadual de Planejamento
Coordenação da Região Metropolitana de Ciba (1976).

682500

685000

4. GEOLOGIA REGIONAL

O sistema hidrográfico da micro-bacia do rio Pequeno está superposto geologicamente a duas entidades maiores: a Bacia de Curitiba e o Complexo Granítico da Serra do Mar.

A Bacia de Curitiba é formada por duas unidades geológicas bastante definidas. A primeira, relacionada ao embasamento, é aqui denominada, genericamente, de Complexo Gnáissico-Migmatítico de suposta idade Arqueana a Proterozóica Inferior. São corpos gnáissicos-graníticos e migmatíticos de composição granodiorítica a tonalítica, associados a metabásicas anfibolíticas.

A segunda unidade geológica é a Formação Guabirotuba, formada por sedimentos de origem flúvio-lacustre. É constituída por argilitos e siltitos de coloração esverdeada com intercalações de arenitos arcossianos e raros conglomerados com seixos de quartzo. É frequente a ocorrência de impregnações de caliche e camadas pouco espessas de arenito fino, as quais estão intercaladas de maneira descontínua no argilito. Recobrindo parte da Formação Guabirotuba e parte do Complexo Gnáissico Migmatítico ocorrem os aluviões Holocênicos.

O Complexo Granítico da Serra do Mar abrange as intrusões graníticas ocorrentes na região da Serra do Mar, envolvendo desde granitos *sensu strictu* até granitos anatóticos. Os corpos graníticos possuem características próprias e

mostram uma grande variação petrográfica e textural que passam a constituir verdadeiros complexos (MORGENTAL 1975 *apud* BECKER, 1982).

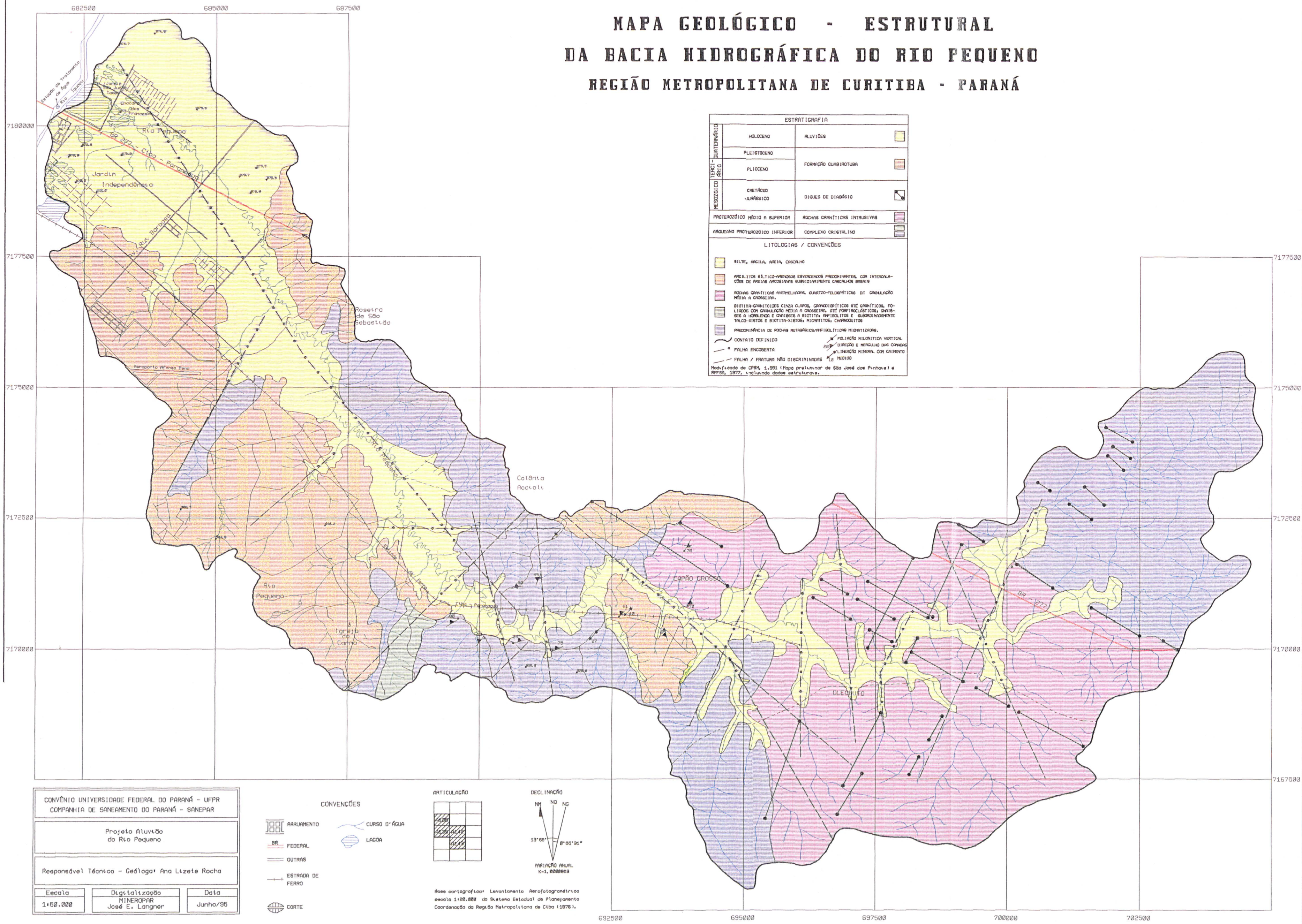
Em síntese, regionalmente, a área é composta pelas seguintes unidades lito-estratigráficas (Figura 03) :

- Complexo Gnáissico-Migmatítico, com afloramentos frequentes nas porções mais elevadas (a leste) da referida bacia.
- Rochas Graníticas Intrusivas, geralmente aflorantes na parte centro-leste.
- Rochas Intrusivas Básicas, encontradas sob a forma de diques , intrudindo as rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico.
- Formação Guabirotuba, sequências litológicas representadas por argilitos, areias arcossianas, depósitos rudáceos e impregnações de carbonato de cálcio.
- Depósitos Sedimentares Recentes, compreendendo sedimentos totalmente inconsolidados, originados e retrabalhados pela ação fluvial.

Fundamentalmente, foram adotadas, como unidades litoestratigráficas, as sequências constantes da coluna abaixo:

| | | |
|--------------------|--------------------|------------------------------|
| QUATERNÁRIO | HOLOCENO | Aluvião |
| | PLEISTOCENO | Formação |
| TERCIÁRIO | PLIOCENO | Guabirotuba |
| MESOZÓICO | CRETÁCEO-JURÁSSICO | Diques de Diabásio |
| PROTER.MED. A SUP. | | Rochas Graníticas Intrusivas |
| PROTER. INFERIOR | | Embasamento Cristalino |

MAPA GEOLÓGICO - ESTRUTURAL
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PEQUENO
REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA - PARANÁ



4.1 TRABALHOS ANTERIORES

4.1.1 COMPLEXO GNAÍSSICO-MIGMATÍTICO

As rochas do embasamento aflorante na micro-bacia do rio Pequeno são essencialmente migmatitos associados com xistos magnesianos, gnaisses, mica-xistos, anfibolitos, quartzitos e rochas metabásicas, conforme descrito por LOPES (1966).

O projeto de construção da ferrovia Curitiba-Paranaguá, constante no Projeto Final de Engenharia: sub-trecho Ferrovia Planalto, Serra e Litoral, realizado em 1977 pela REDE FERROVIÁRIA FEDERAL, também descreve rochas migmatíticas, além de mica-xistos na região leste da área de estudo.

Os migmatitos apresentam aspecto granitóide, granulação grosseira, com bandeamento irregular e xistosidade bem evidenciada. As direções gerais da xistosidade variam de N 10° E a N 70° E com mergulhos geralmente acentuados, entre 50° e 70°, ora para NW, ora para SE conforme dados do referido projeto. A composição mineralógica essencial é constituída de fenoblastos de feldspato envolvidos por matriz de quartzo, feldspato, biotita, hornblenda e outros minerais ferro-magnesianos. Na ausência dos fenoblastos, a granulação é variável de

grosseira a média. Associados a estas rochas ocorrem corpos de xistos magnesianos, anfibolitos e quartzitos.

Os xistos magnesianos, por sua vez, agrupam rochas do tipo biotita-muscovita-xistos, incluindo localmente quartzo-mica-xistos. São rochas de coloração esverdeada que ocorrem em uma faixa alongada nas proximidades da transição Serra-Litoral. A constituição mineralógica inclui tremolita-actinolita, talco, hornblenda, clorita, serpentina, enstatita, diopsídio e carbonatos. Os contatos com os migmatitos são transicionais e por isto difíceis de serem delimitados (LOPES, 1966).

Nas partes altas da bacia do rio Pequeno as rochas migmatíticas e gnáissico-graníticas encontram-se bastante intemperizadas pela ação climática da região desenvolvendo um manto de alteração, observado em poços cacimba próximos aos afloramentos, com espessuras variando desde 3 até 10 metros.

Nestes locais, as rochas apresentam intercalações ferro-magnesianas e quartzo-feldspáticas orientadas segundo uma direção geral de bandeamento N40-45° E, com alto ângulo de mergulho (70° NW).

Intercaladas com os migmatitos ocorrem os anfibolitos, cuja coloração é cinza-escura a preta, gradando a cinza-claro na medida em que aumentam os teores de quartzo e de feldspato.

Os anfibolitos têm composição petrográfica variando desde anfibolitos puros, com constituição quase exclusiva de hornblenda até hornblenda-andesina-gnaisses, contendo quartzo e às vezes microclínio, granada e diopsídio. (FUCK *et al*, 1969).

De acordo com MELO (*in* SALAMUNI, 1994), estas rochas são consideradas de idade Arqueana a Proterozóica Inferior, sendo também frequente

a presença de litologias geradas em ciclos tectono-metamórficos, inclusive com remobilizações no ciclo Brasileiro.

Na área de detalhamento do projeto, ou seja, nas partes mais baixas, próximo à confluência com o rio Iguaçu, o embasamento cristalino é alcançado a cerca de 7 metros de profundidade como pode ser verificado pelas sondagens realizadas pela COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS (1991), SANEPAR e caminhamentos realizados dentro das cavas de areia.

4.1.2 ROCHAS GRANÍTICAS INTRUSIVAS DA SERRA DO MAR

De modo geral, as intrusões graníticas ocorrem de forma discordante da estrutura das rochas encaixantes ou então em concordância parcial, com superfície variando desde alguns quilômetros quadrados até mais de 1000 km² (BECKER, 1982). Os corpos graníticos são diferentes entre si, possuindo uma grande diversidade petrográfica e podendo mesmo chegar a constituir verdadeiros complexos. (MORGENTHAU *et al*, 1975 *apud* BECKER, 1982).

As Serras Marumbi e do Leão também são compostas por rochas graníticas de coloração cinza clara ou rósea, com granulação variando entre média grosseira, e às vezes com uma nítida orientação dos seus minerais.

O Granito Miringuava aflora no setor NE de São José dos Pinhais, possuindo forma regional alongada com contatos mal definidos e com forte controle tectônico NE (FIORI, 1985).

De acordo com os levantamentos efetuados pela COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS (1991), são encontrados granitos alaskíticos, avermelhados, essencialmente quartzo-feldspáticos, eventualmente com hornblenda, médios à grosseiros até pegmatíticos, cizalhados.

4.1.3 ROCHAS INTRUSIVAS BÁSICAS

As rochas intrusivas ocorrem sob a forma de diques de diabásio, diorito-pórfito e diorito granofírico, cuja espessura varia de 20 a 50 metros, possuindo cor cinza-escura, com granulação fina a média, feldspatos alongados sem direções definidas e máficos preenchendo os interstícios. (LOPES, 1966). Estas rochas fazem parte do chamado enxame de diques do Arco de Ponta Grossa.

A direção geral destas rochas é N40° W a N60° W, com pequenas variações, podendo estar encaixadas nas diversas unidades geológicas citadas anteriormente inclusive, o embasamento cristalino.

4.1.4 FORMAÇÃO GUABIROTUBA

Os depósitos da Formação Guabirota compreendem sequências sedimentares argilosas, areias arcossianas e, em menor proporção, depósitos rudáceos.

A designação de Formação Guabirota foi proposta por BIGARELLA E SALAMUNI (1962), com relação aos sedimentos originados no período Quaternário. Historicamente, as litologias foram determinadas como argilitos, arcósios e depósitos rudáceos, incluindo pequenas impregnações de margas (argilas carbonatadas), hoje interpretadas como caliche. A espessura da formação atinge aproximadamente 70 metros em determinados locais, embora a média dos sedimentos fique em torno de 60 metros, conforme constatado em sondagens (BIGARELLA E SALAMUNI, *op cit*).

BECKER (1982), com relação à Formação Guabirota, além dos argilitos e areias arcossianas, cita os sedimentos rudáceos e as impregnações de carbonato de cálcio (caliche), outrora consideradas como margas por (BIGARELLA E SALAMUNI, *op cit*). A mesma autora ainda discorre sobre as constatações de COUTINHO e SPITZNER citando a presença de lantanita, neodímio, preseodímio, gadolínio, samário e európio. As soluções contendo terras raras procederiam de rochas graníticas situadas a leste e nordeste da Bacia e que as mesmas também poderiam originar-se de áreas graníticas citadas a norte e noroeste, na região de distribuição do Complexo Setuva e Grupo Açungui.

Os argilitos possuem coloração natural cinza-esverdeada passando a avermelhada após exposição ao intemperismo. A estratificação é irregular, podendo no entanto apresentar acamadamento grosseiro, inclusive com intercalações lenticulares de areias arcossianas e arcósios propriamente ditos. Estruturas sedimentares tais como estratificações plano-paralela e cruzada são observadas com frequência nas fácies arenosas

LOPES (1966) menciona nos argilitos a ocorrência de seixos, cuja composição petrográfica é variada (migmatitos, quartzitos, quartzo, diabásio.).

As camadas arcossianas, alternam-se com as de argilito, em formas lenticulares e também tabulares, possuindo cerca de 40% de feldspato. Os sedimentos arcossianos apresentam uma estratificação incipiente, as vezes entrecruzada, com formas tabulares e em camadas descontínuas, de espessura variável, alternando-se com os argilitos (BECKER, 1982).

Os depósitos rudáceos são referidos por esta autora normalmente na base das seções estratigráficas, mais frequentemente na periferia da Bacia, ao contrário dos argilitos, cuja maior representatividade está nas áreas centrais. Na área do Projeto, a Formação Guabirotuba aflora na forma de colinas suavemente arredondadas nas partes mais elevadas, limitando a planície de inundação dos rios Iguaçu e Pequeno.

Nestas colinas ocorrem sedimentos argilosos já bastante alterados, geralmente de coloração vermelho-escuro até arroxeado.

Em sondagens executadas pela empresa ENGEMIN-Engenharia e Geologia, na área do Aeroporto de São José dos Pinhais os sedimentos da Formação Guabirotuba foram descritos como argilas siltosas, bastante plásticas, com coloração cinza-escuro ou marrom, com a presença de grãos de quartzo de tamanho milimétrico até seixos e ainda com a presença de grãos de feldspatos caulinizados.

Os perfis ainda referem a ocorrência de areias arcossianas de coloração branca acinzentada e rosa avermelhada, com textura granular média, intercaladas nestas argilas.

De acordo com BIGARELLA E SALAMUNI (1962), a Formação Guabirotuba foi depositada em um ambiente propício ao surgimento de extensos leques

aluvionais, marcados por canais meandранtes e de dimensões variadas, com circulação periódica de água.

4.1.5. ALUVIÕES HOLOCÊNICOS

Estes depósitos são representados por sedimentos totalmente inconsolidados, originados e retrabalhados pela ação fluvial do Rio Iguaçu e seus principais afluentes, entre eles o rio Pequeno, ocupando atualmente as áreas planas que configuram as várzeas dos mesmos e depositados em terraços, barras e ilhas junto à calha daqueles cursos (BIGARELLA E SALAMUNI ,1962). Estão representados mais comumente por argilas orgânicas, argilas clásticas, areias e em menor escala por cascalhos.

Existem diferenças entre os sedimentos mais antigos da bacia e os mais recentes, traduzidas pela ausência, nos últimos, de grãos de feldspato, seixos de pegmatito ou de rochas ricas em feldspatos.

A maior extensão dos depósitos encontra-se entre os bairros Santa Bárbara e Água Clara, Município de Curitiba, onde o rio Iguaçu inicia-se através de uma convergência centrípeta de cabeceiras, tais como os rios Palmital, Iraí, Piraquara, Itaqui e Pequeno (BIGARELLA E SALAMUNI , *op cit*).

A extensão dos depósitos pode ser vista na foto do mapa regional dos aluviões da bacia do rio Iguaçu, elaborado pela COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS (1991) (Foto 01).

Ainda de acordo com BIGARELLA E SALAMUNI (1962), esta região configura um verdadeiro anfiteatro raso, de diâmetro variando entre 6 e 9 km, sofrendo um estrangulamento na zona de Uberaba, também bairro de Curitiba. A avaliação das características texturais destes sedimentos, realizada pelos referidos autores, indica que grande parte das areias que constituem os sedimentos da várzea do Iguaçu origina-se da decomposição dos migmatitos, enquanto que apenas uma parte consiste de material retrabalhado dos arcósios da Formação Guabirotuba. Desta forma, evidencia-se que os depósitos recentes contém areias que procederam, em sua maior parte, do regolito que recobre os migmatitos.



FOTO 01
FOTO DO MAPA DA BACIA DO ALTO IGUAÇU, MOSTRANDO EXTENSÃO REGIONAL DOS DEPÓSITOS ALUVIONARES
(FONTE: COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS, 1991)

5. GEOMORFOLOGIA

A micro-bacia do rio Pequeno está situada na porção sudeste do Primeiro Planalto Paranaense. Morfologicamente, a mesma está bem individualizada uma vez que está esculpida em parte sobre os depósitos sedimentares da Bacia de Curitiba e em parte nos terrenos pré-Cambrianos, constituintes do embasamento cristalino.

A área abrangida pela bacia é de 126 km², dos quais foram estudados de forma detalhada aproximadamente 1/3 da área total, conforme consta no mapa geológico (Figura 03).

As dimensões extremas da bacia são da ordem de 30 km no sentido leste-oeste e 5 km no sentido norte-sul. A forma é alongada no sentido sudeste, apresentando um estreitamento possivelmente de controle tectônico na parte central, a julgar-se pelos lineamentos estruturais existentes, conforme pode ser evidenciado no mapa geológico.

Estes detalhes da bacia se tornam de grande importância na medida em que a mesma pode ser compartimentada em três setores, tanto a nível litológico quanto a nível geomorfológico.

O setor leste da mencionada bacia está entalhado sobre rochas metamórficas e intrusivas básicas, onde as particularidades estruturais e os processos morfo-climáticos exercem grande influência. O relevo é extremamente

enérgico, os taludes são bastante íngremes; vertentes curtas; fortes declividades, geralmente em torno de 45%, vales em forma de "v" abertos e fechados. Os solos são pouco desenvolvidos, com frequente exposição de rochas. Sobressaem-se as linhas de crista condicionadas pelas deformações de ordem estrutural e também por intrusões de diabásios, observadas com destaque em fotografias aéreas. A drenagem é predominantemente retangular ou sub-retangular, adaptada aos padrões de fraturamento.

Outras sub-unidades ocorrentes nesta parte da bacia são os depósitos coluviais (IPARDES, 1989), acumulados no sopé das vertentes e relacionados aos processos gravitacionais.

Traçando-se um perfil em direção ao rio Iguaçu, observa-se a sucessão de formas evidenciando as diferenças morfológicas existentes na bacia.

A parte central da bacia possui uma topografia mais suavizada com relação ao setor leste. Esta característica topográfica está relacionada à diversidade de litologias aí encontradas, exemplificadas por migmatitos, granitos intrusivos, sedimentos da Formação Guabirotuba e, também, por surgimento de depósitos aluvionares mais expressivos. Estes últimos mostram-se relativamente amplos em extensão, cerca de 600 m, mas com espessuras pequenas, entre 2 e 3 metros.

Ainda neste setor, as colinas das rochas graníticas são arredondadas, em forma de meia laranja, com vertentes côncavo-convexas, contornadas pelos aluviões e fazendo parte de uma antiga superfície de agradação pediplanada sofrendo dissecação em variados graus. As declividades geralmente se apresentam entre 10 e 20%. Os solos são profundos e bem mais desenvolvidos (IPARDES, 1989). Os sedimentos plio-pleistocênicos da Formação Guabirotuba apresentam como feição morfológica característica os morros e colinas

suavemente arredondados e algumas vezes tabuliformes, constituindo interflúvios relativamente largos (BIGARELLA E SALAMUNI, 1962). Neste setor central o padrão de drenagem ainda possui forte controle estrutural mas assume um arranjo dendrítico a sub-dentríco.

De forma contrastante com o relevo enérgico na parte leste e as formas relativamente suavizadas da parte central, encontra-se, a sudoeste, as vastas várzeas de inundação construídas pela junção dos rios Iraí, Atuba, Palmital, Pequeno, Itaquí, Piraquara, entre outros que se unem para o constituir o rio Iguaçu. Estas várzeas são superfícies de agradação horizontalizadas que se estendem ao longo das margens dos rios Iguaçu e Pequeno, incluindo terraços fluviais e rampas de colúvio (PASSOS E MURATORI, 1988).

Esta paisagem é marcada por diversos níveis de erosão bem como por terraços fluviais também em níveis diversos, geralmente na forma de *fill terrace* (BIGARELLA E SALAMUNI, *op cit*).

A evolução da paisagem nesta região está intimamente relacionada com a drenagem, neste caso o rio Iguaçu o qual sem sombra de dúvida é o principal responsável pelo espessamento dos depósitos aluvionares na bacia em questão.

Nestas várzeas os rios são nitidamente insequentes (sem controle) em que pese o alinhamento dos mesmos segundo os principais sistemas de fraturas. Tal alinhamento sugere rios originalmente subsequentes, ou seja que acompanhavam a direção das falhas. Entretanto o caráter subsequente ou direcional é mais evidente nas áreas do embasamento cristalino, onde o controle tectônico é mais evidente (informação verbal do Dr. RIAD SALAMUNI). Nas citadas áreas, são comuns os pequenos “lagos em ferradura” (*oxbow lakes*), provenientes de

meandros abandonados, comprovatório de constantes modificações dos leitos fluviais em tempos recentes.

De forma geral, ao resumir-se os aspectos geomórficos da região do rio Pequeno, evidencia-se que a mesma pode ser morfologicamente bem individualizada em três compartimentos distintos: a porção leste, com um relevo mais íngreme e nítido controle tectônico; a porção central com maior diversidade de feições e a porção noroeste com amplos interflúvios, vertentes longas e baixa densidade de drenagem .

De forma geral o padrão de drenagem da bacia pode ser definido como retangular a sub-retangular, apresentando pequenas variações na porção central para um comportamento dendrítico a subdendrítico, porção esta afetada não somente pela tectônica rígida regional mas também pela diversidade de litologias aí encontradas. No setor sudoeste o padrão sub-retangular se mantém apresentando uma escassa rede de drenagem, com longos braços e poucas ramificações.

A área onde foi feito o detalhamento dos depósitos aluvionares é caracterizada por apresentar declividade em torno de 0-2,5% (MINEROPAR, 1994) (Figuras 04 e 05), sujeita a inundações periódicas, com a presença das "cavas", feições antropogênicas que modificaram em grande escala a morfologia fluvial original, de maneira que os diques marginais, canais meandantes e meandros abandonados foram praticamente destruídos pela mineração predadora que ocorre na região há mais de 40 anos.

Este tipo de exploração descaracterizou a antiga planície de inundação do rio Iguaçu, na medida em que a retirada de areia origina "cavidades retangulares" os quais, após o abandono da mineração, enchem-se de água. Atualmente,

conforme pode ser visto na Figura 06 e na Foto 02, a região pode ser praticamente representada como um imenso lago.

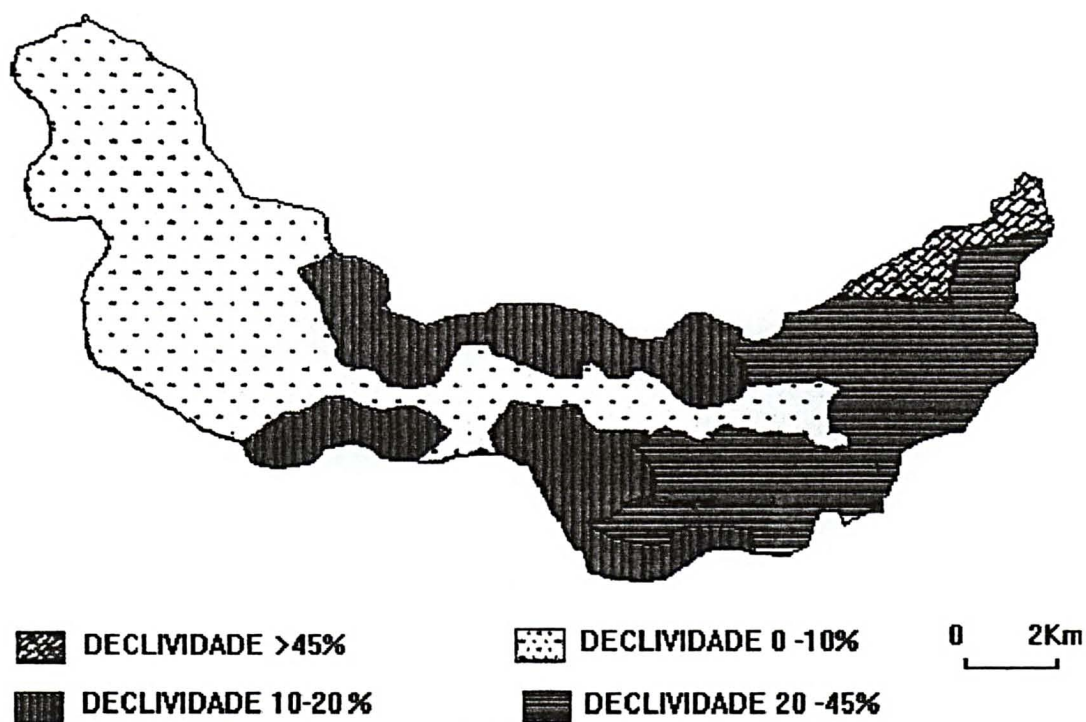


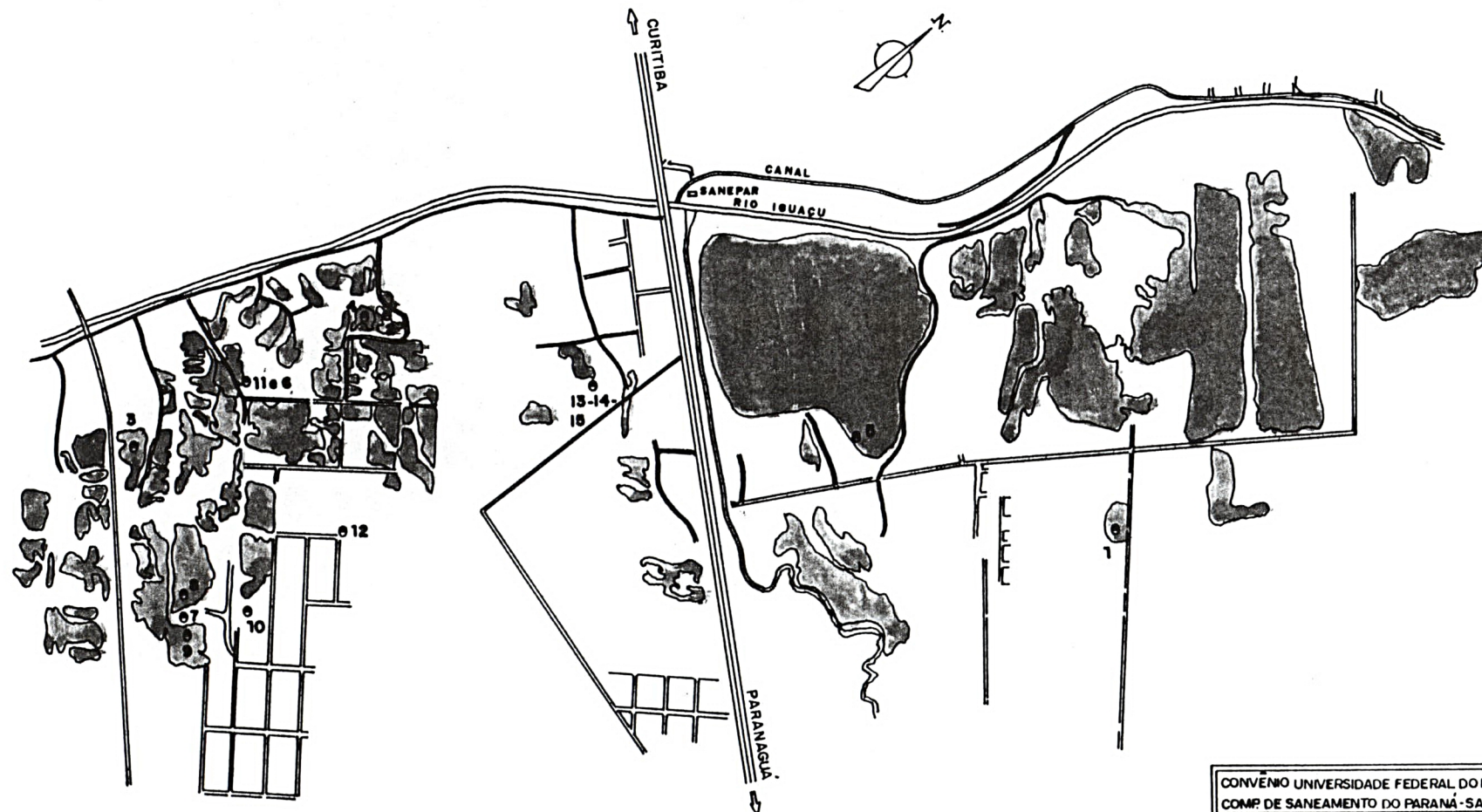
FIGURA 04

CARTOGRAMA MOSTRANDO A DECLIVIDADE DA BACIA DO RIO PEQUENO .
(FONTE: TONETTI,1993.)



FIGURA 05

CARTOGRAMA MOSTRANDO ÁREAS ALAGÁVEIS, COM ALTÍSSIMOS RISCOS DE
INUNDAÇÃO (FONTE: TONETTI,1993)



LEGENDA

- PONTOS DE COLETA D'ÁGUA
- ☁ ÁREAS ALAGADAS (CAVAS)

FIG. 04

| | | |
|--|----------|------|
| CONVÊNIO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ | | |
| COMP. DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR | | |
| PROJETO ALUVIÃO | | |
| DO RIO PEQUENO | | |
| MORFOLOGIA E DISTRIBUIÇÃO DAS CAVAS NA REGIÃO DA | | |
| ESTÇÃO DE TRATAMENTO DA SANEPAR - ETA IGUAÇU | | |
| RESPONSÁVEL TÉCNICA: | | |
| GEOLOGA: ANA LIZETE ROCHA | | |
| ESC. APROXIM. | DESENHO | DATA |
| 1:25.000 | J. BRAGA | |



FOTO 02
VISTA GERAL DA REGIÃO DAS CAVAS NA CONFLUÊNCIA DO RIO IGUAÇU COM O PEQUENO.

6. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

6.1 ASPECTOS GERAIS

A expansão urbana da região ocorreu de forma bem diversificada. Na parte leste, a ocupação se deu em pequenas áreas, as quais são utilizadas tanto para lazer (pequenas chácaras) como para pequenas atividades agrícolas.

Na parte oeste, principalmente nas áreas que margeiam a BR 277, trecho Curitiba-Paranaguá, é onde ocorre de forma intensa a ocupação suburbana, existindo loteamentos irregulares sem respeito às várzeas, impróprias à ocupação, posto que tais áreas estão sujeitas à inundações periódicas. (Foto 03).

6.2 ATIVIDADES MINERÁRIAS

Na planície aluvionar do rio também ocorrem atividades de extração de areias utilizadas para construção civil.

As áreas que já foram lavradas, ou mesmo que ainda vem sofrendo o processo de exploração, são similares entre si, sobressaindo-se devido à ocorrência de inúmeras cavas inundadas de água, com dimensões variáveis, separadas por estreitas ou largas faixas de terra.

A operação de lavra dessas areias é feita na região principalmente pelo método de dragagem, o qual compreende a remoção do material estéril através de uma escavadeira hidráulica, cavando-se até o nível freático (Foto 04). Quando aparece a água, é iniciada a operação com uma draga de sucção, de 4 a 6 polegadas, apoiada numa balsa de madeira, adaptada com um motor de caminhão. O material dragado é então jogado diretamente em depósito, para posterior carregamento, ou sobre uma peneira para separação dos grosseiros.

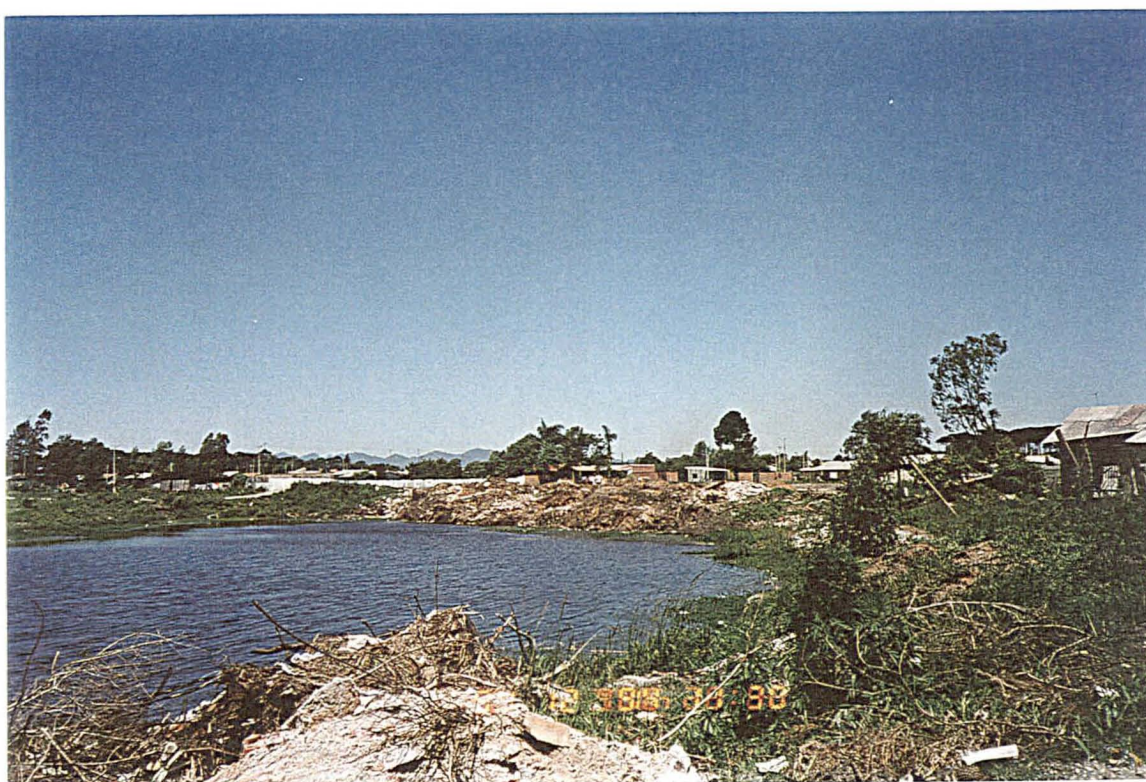


FOTO 03
ASPECTO DA OCUPAÇÃO URBANA, DISTANTE CERCA DE 200 METROS DA
ESTAÇÃO DE CAPTAÇÃO DA SANEPAR.



FOTO 04
EXTRAÇÃO DE AREIA NA PLANÍCIE DO RIO PEQUENO

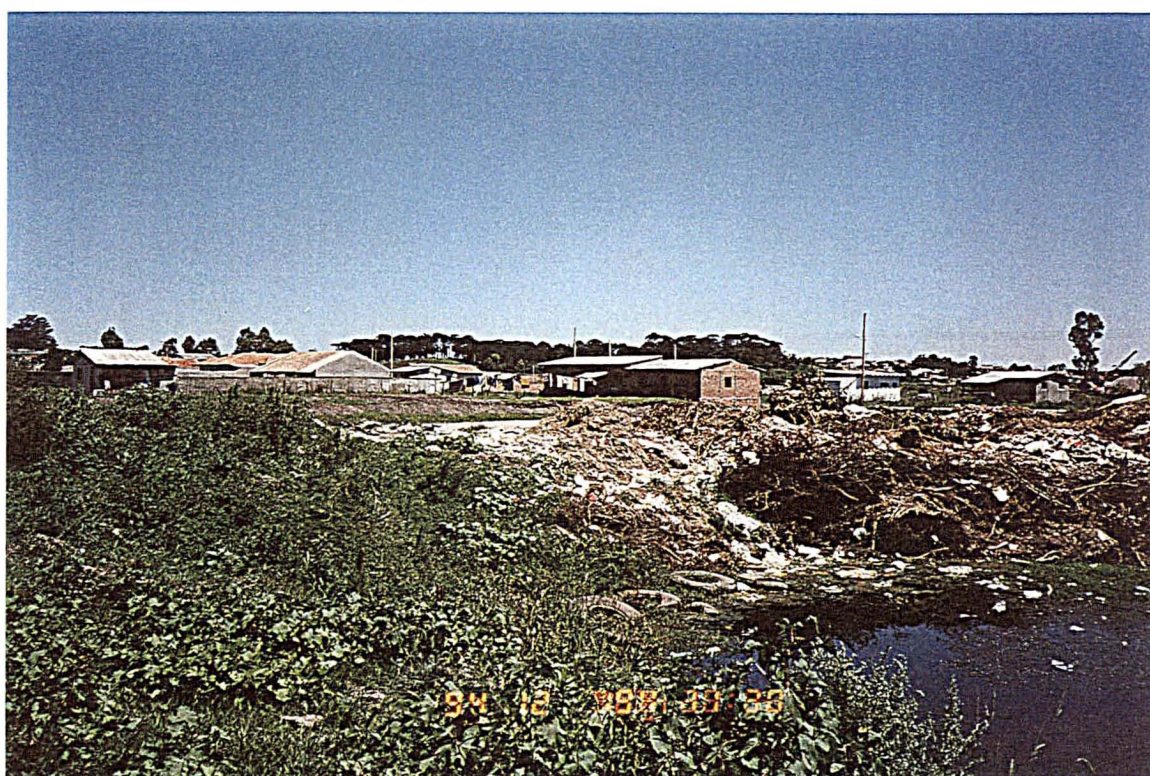


FOTO 05
UTILIZAÇÃO DAS CAVAS NA PLANÍCIE DO RIO PEQUENO

6.3 USO DOS DEPÓSITOS ALUVIONARES

6.3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A exploração das águas subterrâneas em áreas aluvionares no Brasil está relacionada ao início do próprio povoamento, quando então eram utilizadas as formas tradicionais de captação como cacimbas, poços amazonas e ponteiras.

Esta exploração se deu de forma mais intensa no Nordeste, onde as planícies de inundação eram procuradas como meio de superação das deficiências de uma região com escassez de recursos hídricos.

REBOUÇAS (1980), descreve que a Regência Trina, em 1831, autorizou a abertura de poços tubulares como medida de combate de falta d'água no Nordeste.

SOUZA (1985) também discorre sobre os primeiros estudos realizados em áreas aluvionares no Brasil. O autor cita John Casper Branner, o qual elaborou em 1909, um projeto para o serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, onde se caracterizava a importância destas áreas como aquíferos e sua utilização pela população rural tanto para consumo doméstico como animal. O acesso ao aquífero era feito através de "buracos" cavados nos leitos dos rios intermitentes. O Eng. Pompeu Ferreira da Ponte (1884, *in* Souza 1985), no seu trabalho "Ensaio Sobre Irrigação Agrícola na Província do Ceará", discursava sobre a potencialidade das planícies aluvionares, citando-as inclusive como de preferência das comunidades

indígenas locais. O referido autor, já naquela época, defendia uma proposta de exploração racional, como forma de produzir a sustentação e sobrevivência das populações através da irrigação de pequenas áreas.

A exploração dos aquíferos aluvionares passou a ser cada vez mais defendida nas décadas de 1920 e 1930, quando as captações eram feitas em afloramentos do lençol freático ao longo dos leitos dos rios, os chamados poços naturais.

Na região sul do Brasil, mais propriamente no Paraná, por suas condições climáticas de muita umidade e abundância "visual" de recursos hídricos superficiais, não existiu tradição nem necessidade de uso deste tipo de depósito, até então.

Os depósitos de várzeas dos principais rios do Estado do Paraná foram e vem sendo utilizados largamente, por mais de 40 anos, para a construção civil.

O trabalho clássico de BIGARELLA E SALAMUNI em 1962, já ressaltava o pensamento dominante para a utilização do rio Iguaçu pela cidade em crescimento. Os referidos autores discorrem que os povoados iniciais foram erigidos sobre um terraço da Formação Guabirotuba, onde atualmente é a Praça Tiradentes, nos limites de terrenos mais baixos, constituídos pelas várzeas dos rios Ivo e Belém, afluentes do rio Iguaçu. Ou seja, a proximidade com o rio Iguaçu era, desde o início da colonização, considerada garantia de abastecimento de água e também de suprimento de areia.

Em função da abundância dos recursos hídricos superficiais foi gerada uma mentalidade de uso sem que houvesse menção ou questionamento a respeito da função destes depósitos como aquífero e tampouco a respeito do desequilíbrio

ambiental causado por tantas alterações na morfologia de um sistema hidrográfico do porte do rio Iguaçu.

Na realidade, apesar da importância e necessidade da exploração de areia para o crescimento da cidade, não houve uma contrapartida para o desenvolvimento de uma política de exploração racional baseada na recuperação ambiental.

6.3.2. ASPECTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS

Fato relevante neste uso já incorporado à história do município, é que com a criação da mídia de "cidade ecológica, cidade modelo, reciclagem de lixo", contribuiu para acelerar o crescimento e o processo de valorização do solo da metrópole, com maiores exigências legais para aprovação de novos loteamentos, desencadeando uma migração da população de baixa renda em busca de áreas mais afastadas .

As áreas disponíveis, em função de seu baixo valor, foram principalmente as da planície de inundação dos rios que compõem o sistema Iguaçu, apesar de serem consideradas "áreas de risco", como no caso do rio Pequeno, ou seja, área de manancial com restrições de uso e ocupação.

Assim, se por um lado a planície aluvionar serviu e serve como fonte para subsidiar principalmente o setor habitacional da cidade, esta não correspondeu , melhor dizendo, não gerou condições de uso e exploração mais racionais, nem

preservou a região, frágil ambientalmente, de um movimento migratório por parte da população de baixa renda.

De acordo com dados do IPARDES (1994), o maior fluxo destas famílias residentes em Curitiba dirigiu-se para as áreas de risco em São José dos Pinhais.

A população mais carente está localizada na área de detalhamento do Projeto Aluvião, próxima à Estação de Captação de Água da SANEPAR, no lado direito da BR-277, sentido Curitiba-Paranaguá.

A densidade populacional desta localidade, nos terrenos mais próximos do rio Iguaçu, também conhecida como Jardim Independência, é estimada em cerca de 100 famílias (segundo observações de campo).

As casas são de madeira, com baixa metragem (até 28 m²) com infraestrutura mínima e com ressalvas quanto à qualidade destas habitações (IPARDES, 1994), sendo que os terrenos invadidos na faixa de proteção do rio Iguaçu não possuem nenhuma da referida qualidade e infraestrutura mínima.

Em muitas áreas, os lotes são adjacentes às cavas ocorrendo então que o destino dos dejetos é, por ordem de uso, as fossas negras, fossas sépticas e valetas a céu aberto. Posteriormente, tais dejetos são canalizados ou armazenados naquelas (IPARDES, 1994) (Foto 05, página 39).

Existe um consenso na população local, gerado pelo descaso institucional, de que estas áreas são como imensos depósitos naturais de lixo. Os próprios moradores contribuem para o entulhamento das cavas com lixos orgânico e reciclável, acreditando que o terreno poderia se tornar mais "seco".

Nas margens do rio Iguaçu, próximo à ponte da BR-277, os moradores, geralmente papeleiros, constroem "diques" com lixo tentando evitar a invasão das águas. A degradação visual da região é incrementada pelo modo como é retirada a

areia, pois os mineradores deixam o capeamento argiloso em montes ao redor da abertura da cava, facilitando os processos erosivos já existentes em função das litologias da área.

A atividade minerária inicialmente só se preocupava com a extração dos níveis puramente arenosos, sendo que para tal, o uso de pequenas dragas eram suficientes para o desenvolvimento da lavra. Atualmente, no entanto, a extração vem se tornando monopólio de alguns empresários que passaram a implementar dragas maiores, com capacidade técnica e velocidades surpreendentes, tornando-se potencialmente destruidores do manancial subterrâneo e poluidores do manancial superficial.

Para se ter uma idéia de quão dinâmico e irracional é o processo de extração de areia na Região Metropolitana de Curitiba, uma cava com dimensões de cerca 250 m x 50 m (12.500 m²) pode ser aberta em menos de sete dias. Este fato foi constatado durante os levantamentos de campo.

Uma outra questão de cunho eminentemente sócio-ambiental está relacionada com a qualidade das águas para abastecimento da população. Desde 1985, a Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR, em determinados períodos, recebe um grande número de reclamações quanto à qualidade da água (cor e gosto) e não raramente, os sistemas de tratamento dos rios Iraí e Iguaçu são parcial ou totalmente paralisados devido a má qualidade da água *in natura*.

Este problema ocorre tanto em períodos de chuva intensa como em situações provocadas pela mineração, quando, de forma clandestina, os efluentes resultantes da lavagem das areias das cavas são despejados diretamente tanto nos rios Iguaçu como Iraí. Segundo relatórios internos da SANEPAR, fornecidos pela Gerência de Produção de Recursos Hídricos, as alterações de cor e turbidez

causadas pelos efluentes das cavas de areia impossibilitam a obtenção de água tratada dentro do padrão de potabilidade.

De acordo com os dados obtidos, em situações normais, são consumidos diariamente 1,14t e 7,25t de sulfato de alumínio, respectivamente nos sistemas Iraí e Iguaçu, como coagulante. Nos dias em que há interferências oriundas do despejo dos efluentes das minerações, o consumo na Estação do Iraí eleva-se para 1,6 t/dia e na Estação do Iguaçu (BR 277) o consumo atinge até 16,49 t/dia. Quando as estações chegam ao limite das suas capacidades técnicas, é necessário a diminuição do volume de água tratado ou até a paralisação completa dos sistemas.

Para exemplificar, em 1991, nos dias 19 e 20 de junho houve necessidade de redução do volume tratado, gerando a não distribuição de 30.538 m³ de água, equivalente ao consumo de uma população de 169.538 pessoas, incluindo residências, hospitais e indústrias (dados fornecidos pela SANEPAR).

Este quadro, agravado pela tendência de aumento populacional, tende a tornar o problema ambiental crítico, agravado sobretudo durante as enchentes.

Tal como pode ser verificado na Tabela 3 as chuvas alcançaram índices de 528 mm, durante o mês de janeiro de 1995, superando a maior precipitação já ocorrente de 455 mm em dezembro de 1970.

A questão das planícies de inundação que compõem a bacia do rio Iguaçu nos períodos das enchentes e nos de estiagem prolongada (onde existe a necessidade de racionamento d'água) encontra-se discutida de forma bastante significativa no trabalho desenvolvido "As enchentes de jul/83 e a busca de soluções (1984). Neste trabalho é salientada a necessidade de uma revisão geral das variáveis sociológicas, econômicas, culturais e políticas pois a ocorrência de

tais problemas atinge os elementos vitais do desenvolvimento da comunidade e da região, ou seja, o homem, o meio ambiente e os meios de produção.

A água e o homem são os recursos básicos que garantem e permitem a existência e o desenvolvimento das civilizações. Quando o flagelo acontece, é a própria sociedade que passa a ser atingida, através do caos econômico que se instala, inclusive com a desestruturação das comunidades mais afetadas. Eis aí a parte mais sensível e intangível deste sofrimento e os técnicos devem incorporar estes aspectos nas suas propostas e equacionamento dos problemas.

Como não se pode controlar a quantidade de chuvas numa bacia é necessário que a transformação desta, em vazão, num curso d'água, ou seja o gerenciamento do seu escoamento, será tanto menos problemática quanto mais protegido for o meio ambiente. As grandes superfícies desmatadas reduzem de forma drástica a proporção da circulação de água através do sistema solo-raízes-superfície foliar. BRANCO (1991) observa que a superfície de uma represa ou grandes lagos em contato direto com o ar transferem uma quantidade muito inferior à atmosfera do que uma área equivalente de florestas. Este autor esclarece que a superfície de folhas desta última é imensamente maior do que a superfície livre de um lago.

O que se constata hoje, em épocas de enchente, são as consequências desta substituição a longo prazo, transformando os regimes de chuvas normais de uma determinada região, em um regime de escoamento torrencial, com grandes volumes de água escoando em pouco tempo. Isto origina a diminuição da capacidade de retenção pelo solo, grande escoamento superficial, erosões e carreamento de quantidades consideráveis de sedimentos para os rios.

6.3.3. ASPECTOS LEGAIS

A Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Federal 6938/81) prevê a questão legal com relação a recuperação de áreas degradadas ao incluir a "recuperação da qualidade ambiental" como um dos objetivos e o princípio da "recuperação de áreas degradadas" como um de seus instrumentos (BITTAR E BRAGA, 1995).

Posteriormente, a legislação federal existente desde o advento da nova Constituição Brasileira, promulgada em outubro de 1988 estabelece que: "Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei". O decreto nº 97632, de 10 de abril de 1989, dispõe no seu Parágrafo Único que "para os empreendimentos já existentes, deverá ser apresentado ao órgão ambiental competente, no prazo máximo de 180 dias um plano de recuperação da área degradada".

No entanto, apesar da existência destes dispositivos legais a fiscalização não é, de forma alguma, efetiva. Na região do rio Iguaçu os mineradores se limitam a apresentação de um projeto técnico ao órgão ambiental. Como não tem responsabilidade pela recuperação dos danos que causam, em função da precariedade da fiscalização, pelo órgão ambiental, eles simplesmente abandonam as cavas depois de utilizadas. Assim é necessário a implementação de um planejamento do uso e ocupação do solo, específicos para os aluviões da Região Metropolitana de Curitiba, por parte dos órgãos competentes. Tal planejamento,

além de recuperar as áreas degradadas, ensejaria a criação de um sistema racional e mais produtivo (BAUER, 1989).

6.3.4 SITUAÇÃO ATUAL DOS DEPÓSITOS DE AREIA

As planícies aluvionares do Alto Iguaçu e do rio Pequeno em suas áreas de maior espessura de areia, encontram-se totalmente degradadas pela atividade minerária predadora desenvolvida nestas últimas quatro décadas. Tal fato é bem ilustrado tanto em fotografias áreas recentes como pelo mapa elaborado pela COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS em 1991, o qual inclui um cadastro das empresas de mineração que existem na RMC.

A superfície das cavas na região do rio Pequeno, em km², foi calculada de maneira relativamente simples, conforme descrito em SCHAFER (1984). Segundo este autor a área pode ser calculada por planimetria, representativa de uma época do ano, em função do balanço hidrológico, permitindo-se obter um volume calculado de água, através da seguinte fórmula:

$$V=A \cdot z$$

onde

V=volume real do lago

A= superfície em km

z= profundidade média

Através da média planimétrica das fotografias aéreas e dos mapas utilizados chegou-se a uma superfície de cavas de **1.619.334m²**, num total de

aproximadamente **3.500.000m²**. Ou seja, **46%** da região compreendida pela confluência dos rios Pequeno e Iguaçu é ocupada por cavas. Através do detalhamento realizado em campo obteve-se como espessura média de areia cerca de 2,5 metros, estimando-se , então, que aproximadamente **4.048 000m³** de areia foram retirados desta região.

Dados oficiais, entretanto, revelam que somente 340.064m³ de areia foram declarados pelas empresas legalmente registradas , no período 1989-1993 (tabela 04). Considerando-se a espessura acima referida este valor representa uma área de apenas **136.025m²**, ou seja, em torno de **369m x 369m**, ou 4% da área total.

A Tabela 5 mostra a quantidade total de argila que foi declarada na região de São José dos Pinhais.

TABELA 4
VOLUME DE AREIA, EM M³, OFICIALMENTE EXTRAÍDO NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS NOS ÚLTIMOS 5 ANOS
(DADOS FORNECIDOS PELA MINEROPAR)

| ANO | VOLUME EXTRAÍDO(M³) | NºDE EMPRESAS DECLARANTES |
|--------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| 1989 | 21.768 | 07 |
| 1990 | 120.418 | 11 |
| 1991 | 92.318 | 12 |
| 1992 | 70.167 | 10* ¹ |
| 1993 | 35.393 | 08* ² |
| TOTAL | 340.064 | |

* Dados somente de empresas cadastradas

*²Dados incompletos

TABELA 5
QUANTIDADE DE ARGILA, EM TONELADAS, OFICIALMENTE EXTRAÍDO NO
MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS NOS ÚLTIMOS 5 ANOS
(DADOS FORNECIDOS PELA MINEROPAR)

| ANO | QUANTIDADE EXTRAÍDA(t) | Nº DE EMPRESAS DECLARANTES |
|--------------|-----------------------------------|---|
| 1989 | 12.340 | 6 |
| 1990 | 61.789 | 40 |
| 1991 | 51.453 | 61 |
| 1992 | 35.115 | 40 |
| 1993 | 24.359 | 33 |
| TOTAL | 185.056 | |

A título de comparação, as Tabela 6 e 7 mostram o que foi declarado pelas empresas no Município de Curitiba.

TABELA 6
VOLUME DE AREIA, EM M³, OFICIALMENTE EXTRAÍDO NO MUNICÍPIO DE
CURITIBA NOS ÚLTIMOS 5 ANOS
(DADOS FORNECIDOS PELA MINEROPAR)

| ANO | VOLUME EXTRAÍDO(m³) | Nº DE EMPRESAS DECLARANTES |
|--------------|---|---|
| 1989 | 71.512 | 11 |
| 1990 | 118.155 | 17 |
| 1991 | 110.062 | 20 |
| 1992 | 78.510 | 21* ¹ |
| TOTAL | 378.238 | |

*1 Dados somente de empresas cadastradas

TABELA 7
QUANTIDADE DE ARGILA, EM TONELADAS, OFICIALMENTE EXTRAÍDA NO
MUNICÍPIO DE CURITIBA NOS ÚLTIMOS 5 ANOS
(DADOS FORNECIDOS PELA MINEROPAR)

| ANO | QUANTIDADE EXTRAÍDA(t) | Nº DE EMPRESAS DECLARANTES |
|--------------|-----------------------------------|---|
| 1989 | 99.357 | 58 |
| 1990 | 113.805 | 61 |
| 1991 | 124.394 | 94 |
| 1992 | 99.056 | 59 |
| 1993 | 30.870 | 34 |
| TOTAL | 467.482 | |

7. SISTEMA AQUÍFERO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PEQUENO

Este estudo abrange os depósitos aluvionares do rio Pequeno além de pequena porção da planície do rio Iguaçu, na zona de confluência de ambos. Esta bacia possui um modelo hidrogeológico, que inclui os aquíferos Gnáissico-Migmatíticos e a Formação Guabirota. O referido modelo é complexo, pois existe uma estreita relação entre esses aquíferos, com alguns importantes aspectos a serem investigados, por exemplo da função dos depósitos aluvionares como alimentadores daqueles mais profundos. Além destes aspectos a serem investigados, o aluvião também serve como regularizador do fluxo do rio Iguaçu em períodos de estiagem.

O embasamento cristalino representa o aquífero mais expressivo da região, condicionado ao padrão de fraturas, tanto tectônicas como atectônicas, configurando uma trama estrutural importante para o armazenamento e circulação da água subterrânea. A zona de contato entre os sedimentos e a rocha inalterada pode fornecer quantidades razoáveis de água.

A direção preferencial dos lineamentos dos migmatitos é nordeste-sudoeste, subordinadamente noroeste-sudeste (diques) e norte-sul, este último com menor expressão.

Dados coligidos de vários poços perfurados na região de São José dos Pinhais (SALAMUNI, 1994) indicam os seguintes valores :

Vazão média regional4.500 l/h

Vazão mínima300 l/h

Vazão máxima.....26.000 l/h

Profundidades

Média152 metros

Mínima....80 metros

Máxima...250 metros

A rigor, os dados obtidos através de SALAMUNI (*op cit*) indicam, no entanto, que não existe uma uniformidade de produção e profundidade entre os poços analisados, os quais mostram-se extremamente variáveis.

A Formação Guabirotuba, conforme definido por BIGARELLA E SALAMUNI (1962), é um aquícludo, consistindo de argilitos cinza esbranquiçados intercalados com lentes de areias arcossianas de distribuição relativamente restrita, além de conglomerados finos. A porção aquífera desta formação é constituída por lentes de areias arcozianas, as quais estão, neste caso, tipicamente confinadas (SALAMUNI,1981). A espessura máxima, prevista para estes depósitos, é de 40 metros, sendo que a média gira em torno de 25 a 30 metros.

Em termos regionais , a parte aquífera da formação Guabirotuba não é quantitativamente expressiva, geralmente fornecendo quantidades subsidiárias de água. Nos depósitos argilosos a possibilidade de ocorrência de água é na zona de

contato com as rochas do embasamento cristalino. As vazões mínimas e máximas apresentadas por este aquífero na bacia do rio Pequeno são de 100 e de 7.000 litros/hora, respectivamente, não estando representado de forma mais significativa nesta região (SALAMUNI, 1994).

7.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA PRINCIPAL

Conforme exposto anteriormente, os fatores geológicos e geomorfológicos condicionaram a deposição dos aluviões do rio Pequeno. Estes fatores permitiram a individualização da bacia em três compartimentos morfológicos distintos, com características litológicas e tectônicas bastante diferenciadas. A energia diferencial de transporte, associada as altas declividades, implicaram que nas porções mais elevadas da bacia, em condições desfavoráveis de deposição, impedindo o espessamento dos referidos depósitos.

No entanto, na medida em que o rio Pequeno se direcionou para a zona de convergência com o rio Iguaçu, a diminuição da declividade possibilitou que a deposição fosse mais efetiva, acarretando um aumento da espessura dos depósitos. Estas considerações são corroboradas pelos dados de sondagens realizados na área, os quais mostraram que em direção às nascentes os depósitos são pouco espessos e, eventualmente, ausentes. Com o intercruzamento dos dados obtidos, foi delimitada a área próxima a Estação de Tratamento da SANEPAR, exatamente na confluência do rio Pequeno com o rio Iguaçu, a qual

apresentou a maior espessura de pacote arenoso, constituindo na época do início do projeto, a área mais intacta ao longo da várzea do rio Iguaçu.

A partir do mapa geológico foi possível inferir que os depósitos compreendem cerca de 34% da área total da bacia (126 km²), sendo que 13% destes apresentam a ocorrência de camadas arenosas com potencial aquífero.

A existência de trechos relativamente extensos da planície, ainda não atingidos pela mineração, reforçou a idéia de que a mesma poderia ter utilidade como reserva estratégica de água para a região de Curitiba.

No entanto, as grandes dimensões das cavas de areia direcionavam o projeto para o aproveitamento dessas escavações como reservatórios importantes, considerados economicamente viáveis.

7.2 CARACTERIZAÇÃO DO AQUÍFERO ALUVIONAR

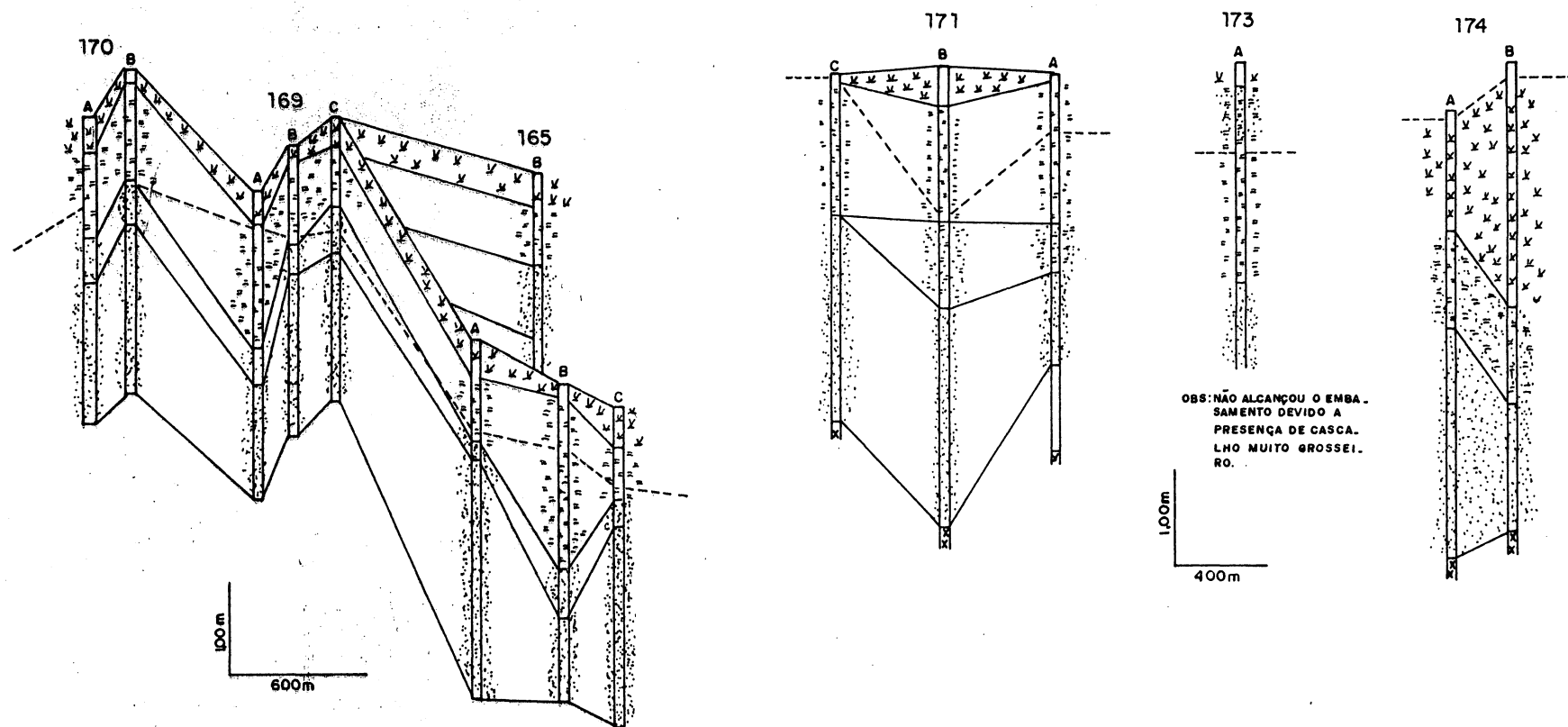
Os aluviões são compostos por depósitos de areia e cascalhos mal-selecionados, intercalados por camadas de argilas, assentados em discordância sobre o embasamento gnaíssico-migmatítico. A granulação varia de fina a grosseira; a estratificação é horizontal a sub-horizontal. Na porção próxima à confluência com o rio Iguaçu, a espessura destes depósitos alcança no máximo 7 metros (Figura 7). No entanto, a montante, isto é, em direção às cabeceiras, a espessura é reduzida para no máximo 5 metros de material siltico - argiloso com ausência de níveis arenosos.

As camadas arenosas são as principais aquíferas, com má seleção granulométrica, variando de fina a grossa em direção a base, com seixos de quartzo desde 2mm até 5cm. Estratificações cruzadas de pequeno a médio porte também foram observadas a partir de perfis realizados dentro das cavas. Na base do pacote arenoso ocorre um depósito de cascalhos, com espessura variando desde 0,20 até 1,00m , constituído por seixos subarredondados a subangulares de rochas metamórficas (migmatitos, quartzitos, leptinitos).

Sotoposto ao pacote arenoso, ocorre o regolito derivado das rochas gnaíssico-migmatíticas, de caráter argiloso, plástico, de cor verde intenso, predominando a caulinita (MINEROPAR,1994), cuja espessura pode chegar a 15 metros conforme encontrado em sondagens realizadas pela SANEPAR para água subterrânea na região .

Este fato já havia sido observado por BIGARELLA E SALAMUNI (1962) através de perfurações, constatando que os sedimentos recentes, em regra, não se assentam sobre os sedimentos da Formação Guabirotuba. Tal constatação é relevante, uma vez que associa o aluvião como alimentador do aquífero fraturado constituído pelas rochas migmatíticas.

Ressalte-se também que os aluviões funcionam como um grande filtro, na medida em que depura (ou impede) os resíduos gerados pela urbanização de loteamentos sem saneamento básico e a carga poluidora acumulada no rio Iguaçu e disseminada na sua planície aluvial em épocas de cheia .



LEGENDA

- GRUPO DE SOLOS INCLUIDO DESDE SOLOS ORGÂNICOS ATÉ TURFA
- ARGILA C/ COLORAÇÃO VARIANDO DESDE AMARELADA ATÉ PRETA
- AREIA FINA C/ TEOR VARIÁVEL DE ARGILA VARIANDO AS VEZES COM SEIXO DE QUARTZO
- AREIA GROSSA A MUITO GROSSA CINZA - ESBRANQUIÇADA C/ NÍVEIS DE CASCALHO (MÉDIA DE 20cm) NA BASE
- EMBASAMENTO
- LENÇOL FREÁTICO

FIG. 7 - CORRELAÇÃO DOS FUROS DE SONDAGEM NA BACIA DO RIO PEQUENO, MOSTRANDO A ESPESSURA MÉDIA DE AREIA (VIDE LOCALIZAÇÃO NA FIG. 2)

- FURO 170 (A-B)
- FURO 169 (A-B-C)
- FURO 165 (B)
- FURO 164 (A-B-C)
- FURO 171 (C-B-A)
- FURO 173 (A)
- FURO 174 (A-B)

Depositados sobre a camada aquífera ocorre um capeamento argilo-siltoso, de cor marrom a cinza clara, com níveis turfosos e espessura variando de 1,0 até 2,5 metros. Ensaio de Análise Termo Diferencial (ATD), realizados pela Minerais do Paraná (MINEROPAR, 1994) revelaram que o mineral argiloso predominante é a caulinita (1:1) e em proporções menores, montmorillonita e illita.

No topo deste capeamento ocorrem solos de cor negra, argilosos, porosos (MINEROPAR, 1994), e bastante ricos em matéria orgânica, cuja espessura varia desde 0,20 até 1,0 m, algumas vezes constituindo verdadeiros depósitos de turfa.

Em termos gerais, existe uma tendência de aumento da espessura do pacote argiloso de leste para oeste conforme indicam os perfis da COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS (1991), enquanto que o pacote arenoso possui espessura relativamente constante, variando apenas quanto ao teor de finos (silte e argila).

As antigas planícies de inundação da bacia (terraços) funcionam como limitantes do aquífero aluvionar fato este evidenciado pelas características morfológicas da bacia, a qual está condicionada às diferentes cotas altimétricas regionais, conferindo a forma de anfiteatro onde os baixos terraços estão esculpidos (BIGARELLA E SALAMUNI, 1962).

Os depósitos recentes originaram-se de fontes diversas, tanto das rochas Pré-Cambrianas quanto dos sedimentos da Formação Guabirotuba e sua sedimentação é consequência dos rios meandantes e das extensas inundações nas várzeas.

Com relação à espessura, o comportamento é homogêneo somente na região próxima ao deságüe no rio Iguaçu; porém, em direção às nascentes, os depósitos perdem esta característica devido ao tectonismo regional, que não

permitiu a formação de níveis arenosos mais espessos. Litologicamente, existe uma heterogeneidade caracterizada pela variação dos teores de argila, silte e areia.

O aquífero aluvionar é aflorante na superfície, do tipo livre, podendo estar localmente confinado pelo capeamento argiloso, como se depreende do comportamento diferenciado dos níveis piezométricos (vide item 7.3). Apresenta acentuada interação com as cavas e com a drenagem superficial. É caracterizado por ser um meio poroso, heterogêneo mas, frente aos estímulos, como os bombeamentos de longa duração e dependendo dos volumes afetados, pode ser considerado como tendo um comportamento homogêneo (CUSTÓDIO E LHAMAS, 1976), simplificando os cálculos dos parâmetros hidrogeológicos.

As formas de recarga estão relacionadas diretamente às chuvas, que saturam o leito aluvionar, e à contribuição lateral das águas de escoamento superficial que desaguam sobre a bacia de captação.

7.3 PIEZOMETRIA DA ÁREA

Foram monitorados durante 07 meses os níveis d'água em 11 piezômetros, nivelados topograficamente (Figuras 02 e 08) , no período de dezembro de 1994 a junho de 1995. Os piezômetros foram construídos a partir de tubos de PVC, de 2 polegadas, perfurados e revestidos com manta bidim.

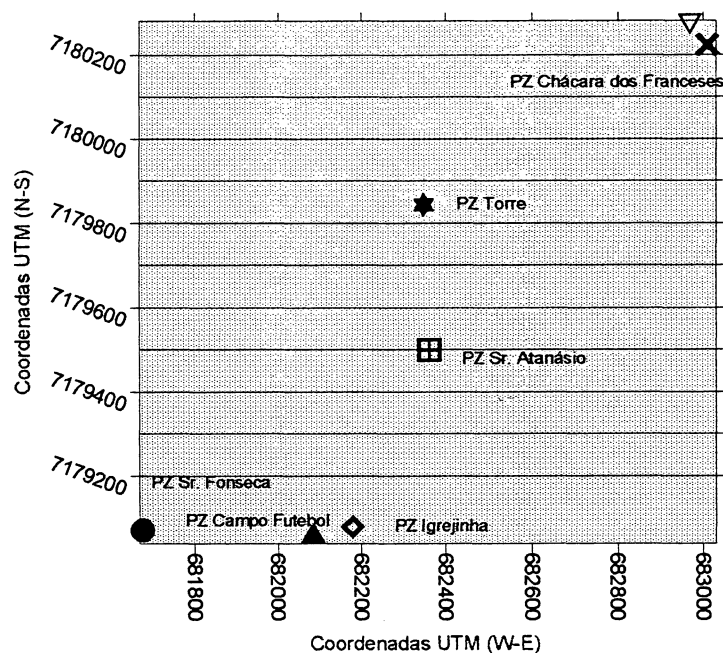


FIGURA 08
LOCALIZAÇÃO DOS PIEZÔMETROS SEGUNDO AS COORDENADAS UTM

A seleção dos melhores locais para instalação dos piezômetros levou em conta a disponibilidade de áreas sem exploração de areia. As medidas foram realizadas semanalmente durante os primeiros quatro meses e no restante, quinzenalmente.

O curto prazo de monitoramento não permitiu uma análise mais profunda do comportamento do nível piezométrico. Apesar dos trabalhos preliminares de mapeamento geológico do aluvião haverem começado efetivamente em 1993, a liberação da instalação dos piezômetros pela Gerência de Hidrogeologia da SANEPAR foi feita somente em dezembro de 1994. O nível piezométrico médio local foi determinado através dos resultados obtidos durante o período de monitoramento, cuja profundidade não excedeu os 2 metros.

O monitoramento deste nível através das cavas, preenchidas por água, não foi possível devido ao dinamismo da mineração, o qual modifica muito rapidamente, semanalmente ou mesmo diariamente, as formas e a profundidade das mesmas.

Os mapas piezométricos foram elaborados considerando-se os níveis de períodos específicos, relacionados após a precipitação pluviométrica local, ou seja, aqueles com pouca chuva (períodos de 20 de março a 19 de abril e de 14 de maio a 14 de junho de 1995, com índice mensal inferior a 24 mm) e aqueles após muita chuva (período de janeiro de 95, o qual apresentou índice superior a 500 mm).

Para uma melhor visualização do comportamento do fluxo subterrâneo, optou-se por gerar uma superfície para os piezômetros da Chácara dos Franceses e outra para os piezômetros instalados no Jardim Independência (Figuras 09 a 13).

Nos gráficos 03 a 06 é mostrado, a título de exemplo, os comportamentos dos níveis piezométricos dos poços e da variação de chuva na região.

O mês de janeiro de 1995 não foi monitorado devido a enchente que ocorreu, conforme caracterizado no Capítulo 2.

Em todos os piezômetros, quando se correlaciona com os gráficos de pluviometria diária dos mesmos períodos, percebe-se que o processo de recarga é praticamente simultâneo, pois estes mostram uma ascensão quando da ocorrência de um volume de chuvas relativamente mais intenso.

Localmente, em alguns piezômetros, como aqueles constantes no Gráfico 4 (piezômetros Igrejinha e Campo de Futebol -período de 31/01/95 a 22/02/95), observa-se que o nível freático do piezômetro Igrejinha assume uma posição de menor profundidade com relação ao piezômetro Campo de Futebol, por um determinado período. Este fato pode ser explicado como uma reversão

momentânea de fluxo, relacionado aos picos de maior quantidade de chuva e também aos rebaixamentos causados nas cavas mais próximas devido à extração de areia. Foi observado também, em alguns poços, que a superfície do lençol freático intercepta a superfície do solo, produzindo zonas alagadiças.

De acordo com os perfis descritos no Projeto Final de Engenharia: sub-trecho Ferrovia Planalto, Serra e Litoral (1977) coincidente com a região de instalação dos poços piezométricos, o rio Iguaçu tem seu curso depositado sobre os sedimentos aluvionares.

A piezometria do aquífero indica uma relação intrínseca do seu comportamento hidráulico com a drenagem superficial existente, podendo -se afirmar que estes dois elementos funcionam como um único sistema.

Constata-se assim que a relação do Iguaçu com o aluvião varia naturalmente com a sazonalidade deste, ou seja, em períodos secos, a água do aquífero é o alimentador dos fluxos de base, cedendo água gradativamente. Já por ocasião das cheias, quando o nível do rio está mais alto que o da superfície do aquífero, esta relação é invertida, ou seja quem cede água é o próprio rio.

A dinâmica do fluxo da água subterrânea é perpendicular às curvas isopiezométricas, com o sentido de deslocamento com relação ao nível do mar, sempre da curva mais elevada, para mais baixa. Na região dos poços monitorados, a direção do fluxo mostrou direções preferenciais da água subterrânea no sentido noroeste, nordeste-sudoeste e leste-oeste conforme pode ser visto nas figuras 10,11,12 e 13.

As formas diferenciadas apresentadas pelos isopiezas evidenciam o grau de saturação do terreno. Na Figura 13 mostrando o comportamento durante o

período de estiagem, percebe-se as linhas mais deformadas e próximas estando relacionado diretamente a composição heterogênea do pacote aluvionar.

As oscilações apresentadas pelos piezômetros foram relacionadas a diversos fatores, como :

- a) ocorrência de uma época bastante chuvosa (janeiro de 1995), seguida de um período relativamente mais seco (abril) ;
- b) exploração de areia;
- c) início da construção do canal extravasor do rio Iguaçu.

7.3.1. O CANAL EXTRAVASOR DO RIO IGUAÇÚ

A partir de março de 1995 começaram a ser realizadas as obras referentes a construção do CANAL EXTRAVASOR DO IGUAÇÚ, uma obra pertinente ao Programa de Saneamento Ambiental - PROSAM , desenvolvida pelo Governo do Estado do Paraná , visando o controle de cheias na região da planície de inundação do rio Iguaçu. Parte do canal atravessa a área em que foi feito o detalhamento do Projeto Aluvião.

No todo, a obra envolve , além do canal, um sistema de diques laterais, delimitando várias áreas ao longo de toda a planície do Altíssimo Iguaçu, hoje ocupadas pelas invasões da população mais carente. e pela mineração de areia.

CUSTÓDIO E LHAMAS (1976) discorrem sobre a construção de canais em terrenos permeáveis, especialmente se não estão revestidos. Neste caso, duas situações podem ocorrer:

- incremento da umidade do terreno quando a superfície da água está mais elevada que a zona saturada;

- caso contrário, quando a superfície da água está mais baixa que a superfície piezométrica, o canal irá atuar como um dreno, fazendo rebaixar a zona saturada.

De acordo com estes autores, as referidas situações podem ocorrer simultaneamente em construções de canais: em alguns segmentos o aquífero pode sofrer um significativo rebaixamento, porém em outros, a zona saturada pode permanecer acima do canal, tornando a área ainda mais alagada.

É possível que já ocorra este rebaixamento devido ao sistema de cavas da região, o qual vem funcionando como atenuador de pequenas enchentes. Como consequência, o rebaixamento causa uma diminuição das águas cedidas pelo reservatório subterrâneo para o rio Iguaçu, mesmo que de forma imperceptível (justamente pela ausência de um plano de monitoramento do lençol freático e de controle de cheias), gerando uma disponibilidade maior de fluxo para as águas oriundas de chuvas.

A partir de março de 1995, alguns piezômetros, como os da Torre da Eletrosul e o da Igrejinha, mostraram o início de um processo de rebaixamento. Os mesmos, em 14 de junho já apresentavam níveis piezométricos a 2,15 e 1,8 metros de profundidade, respectivamente (gráfico 07). Já em 30 de junho, constatou-se uma recuperação deste nível, passando, respectivamente, para 0,75m e 0,80m de profundidade. Inicialmente o início do rebaixamento foi atribuído a escavação do Canal Extravasador do rio Iguaçu, mas, de posse dos dados pluviométricos, este período máximo de rebaixamento foi relacionado, em sua maior parte, com um período de estiagem, ou seja, sem chuvas durante 30 dias (18 de maio a 18 de junho de 1995).

A título ilustrativo e em menor escala, o mesmo fenômeno pôde ser constatado em outro piezômetro, a cerca de 100 metros distante de uma área onde foi iniciada uma exploração de areia de grande porte (200 x 100 metros). Uma semana após o início da obra, o nível piezométrico que se mantinha em cerca de 0,70 m foi rebaixado para 1,46 m.

Tais constatações podem nos ajudar a refletir sobre a eficiência deste canal, uma vez que o estabelecimento de qualquer captação de água (poços) ou obra de grande porte (cavas de mineração ou mesmo um canal), em um aquífero, realmente produzem rebaixamentos significativos do nível do lençol freático. Estes rebaixamentos, no entanto, são rápidos no início das obras mas ao cessar, os níveis tendem a recuperar sua posição original em meios permeáveis, especialmente se estes não estão revestidos.

O que observou-se em campo sobre o canal é que as escavações do mesmo atingiam o embasamento reproduzindo o padrão de mineração já existente, aproveitando -se para sua continuidade as cavas já existentes na região. Assim, o nível do lençol freático permanece praticamente o mesmo , ocorrendo apenas um incremento da superfície de área escavada na região .

Estas modificações na planície aluvionar da bacia hidrográfica do rio Iguaçu são caracterizadas como mudanças externas no suprimento de energia e de matéria , os quais certamente conduzirão a um auto-ajuste das formas e dos processos aí instalados. Entretanto, estas alterações à montante da bacia de drenagem poderão ser muito significativas afetando áreas situadas à jusante.

Os efeitos hidrológicos e geomorfológicos de processos de retificação, num determinado ponto de saída da bacia , propagam-se à jusante através das bacias de drenagem adjacentes. Os fatos observados em campo, com relação a

construção do referido canal, indicam que não foram tomadas medidas preventivas dos possíveis danos.

A instalação e o monitoramento de piezômetros ao longo de toda a área, além de estudos hidrológicos mais completos onde será construído o canal tornam-se fundamentais para o conhecimento da superfície piezométrica da região e do seu comportamento.

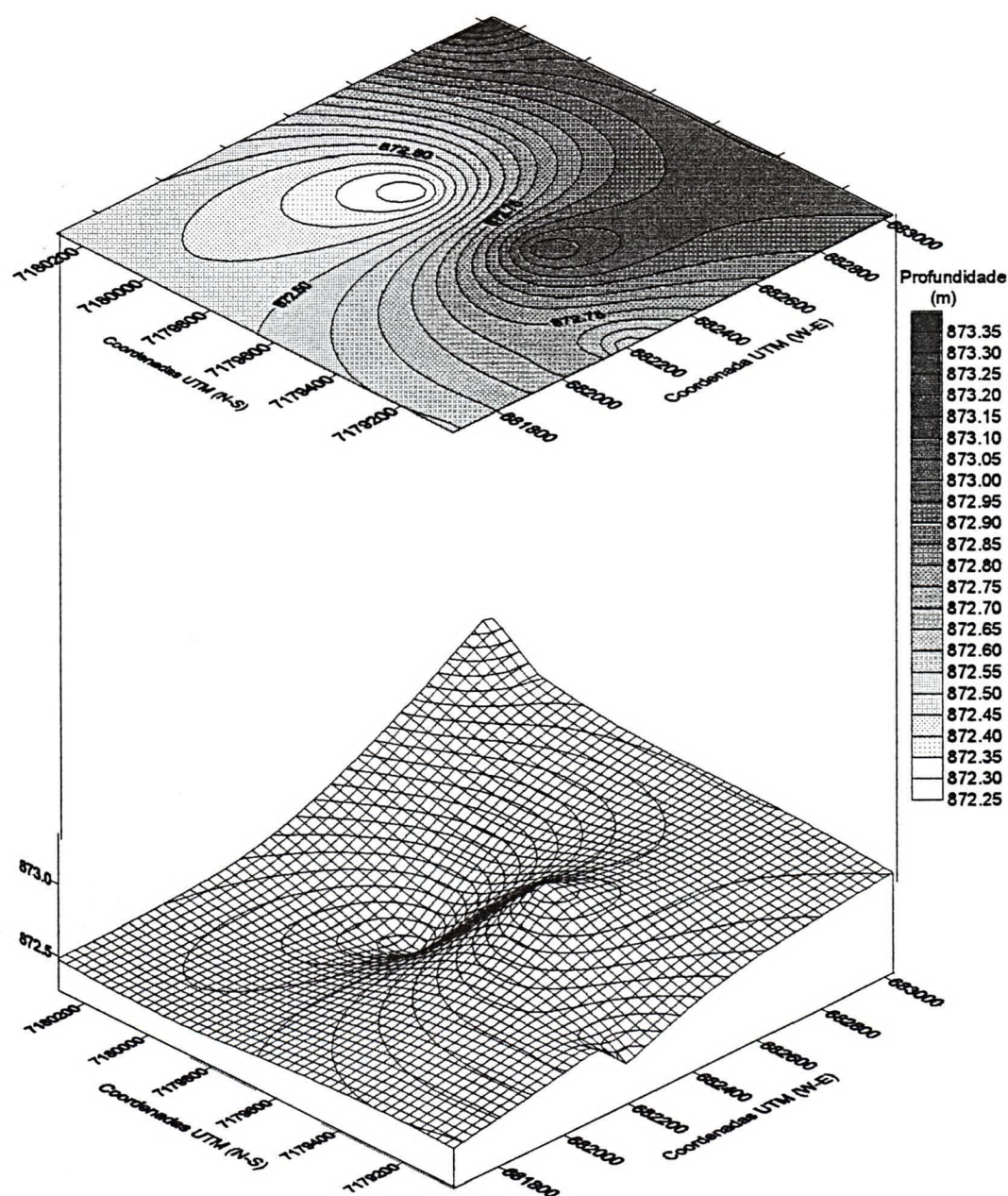


FIGURA 09
MODELO DIGITAL DA SUPERFÍCIE TOPOGRÁFICA DA REGIÃO ONDE FORAM
INSTALADOS OS PIEZÔMETROS.

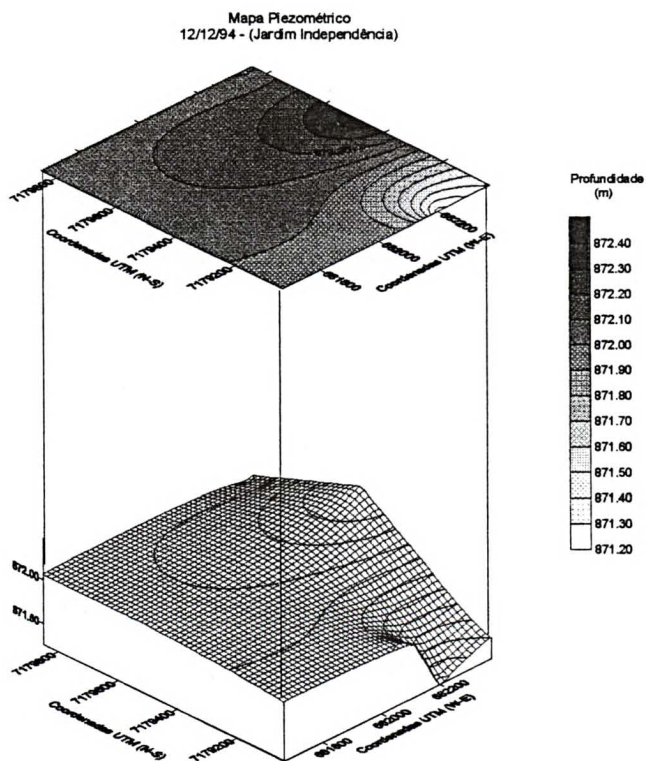
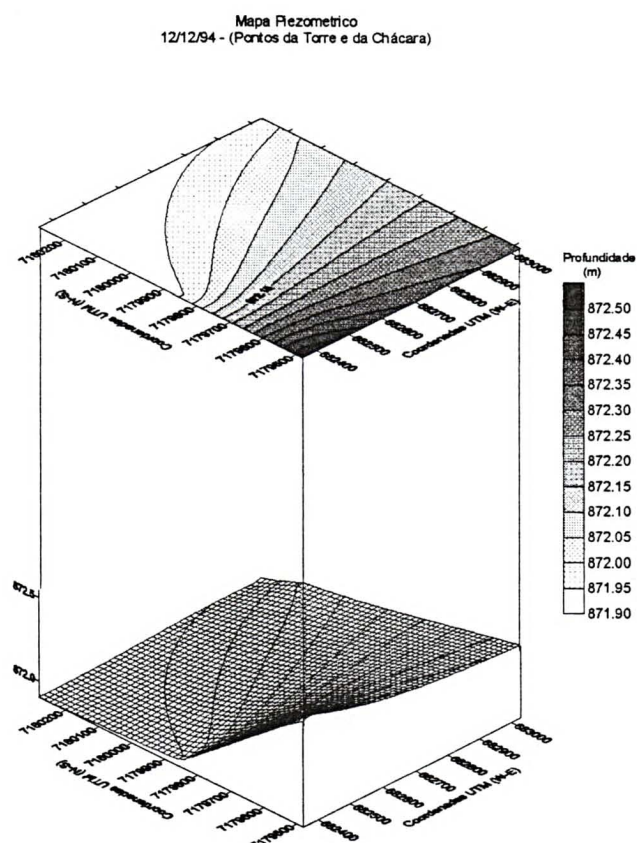
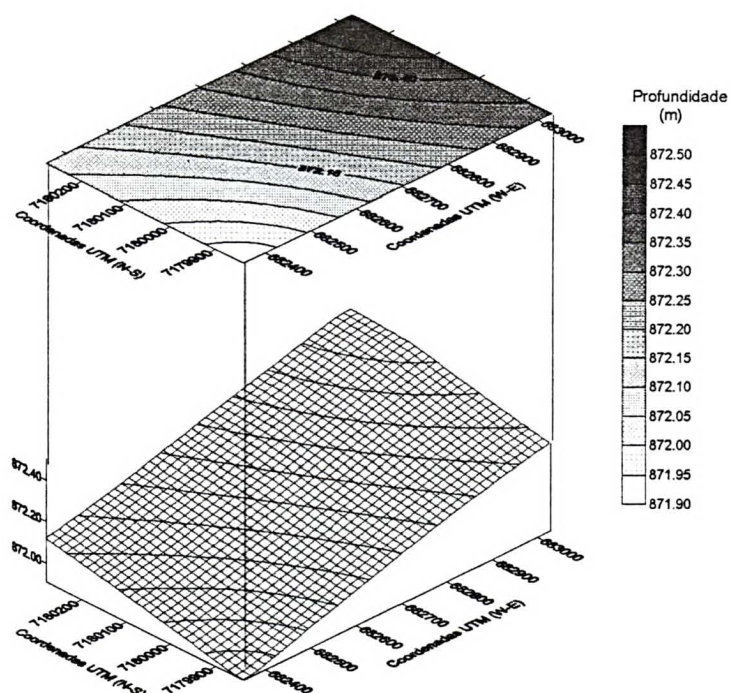


FIGURA 10
DIREÇÃO DO FLUXO DO LENÇOL FREÁTICO APÓS PERÍODO DE INTENSIDADE
MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO DE CHUVAS

Mapa Piezométrico
31/01/95 - (Pontos da Torre e da Chácara)



Mapa Piezométrico
31/01/95 - (Jardim Independência)

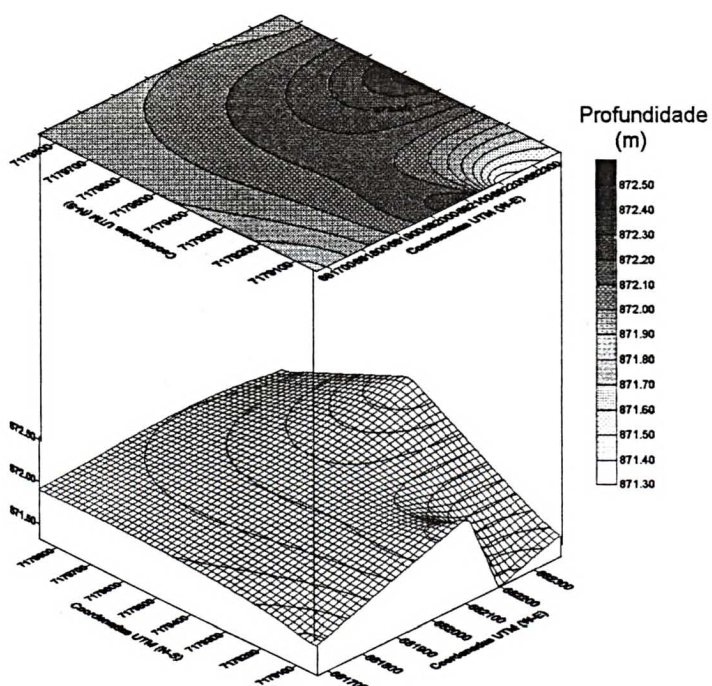
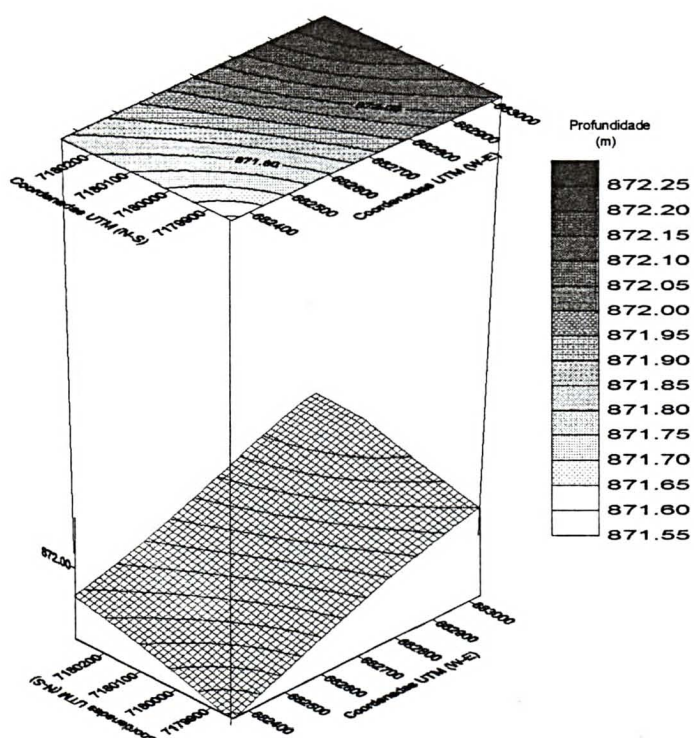


FIGURA 11
DIREÇÃO DO FLUXO DO LENÇOL FREÁTICO APÓS PERÍODO BASTANTE CHUVOSO

Mapa Piezométrico
20/04/95 (Pontos da Torre e Chácara)



Mapa Piezométrico
20/04/95 (Jardim Independência)

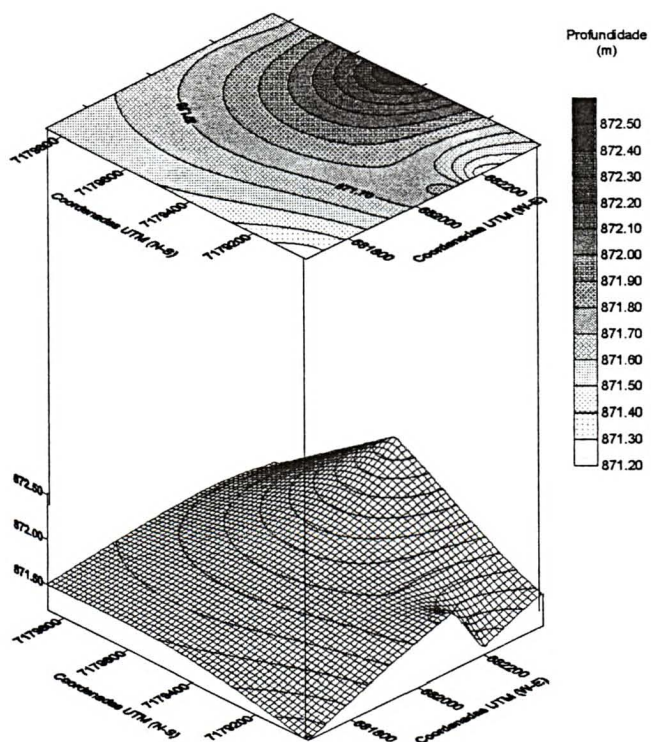
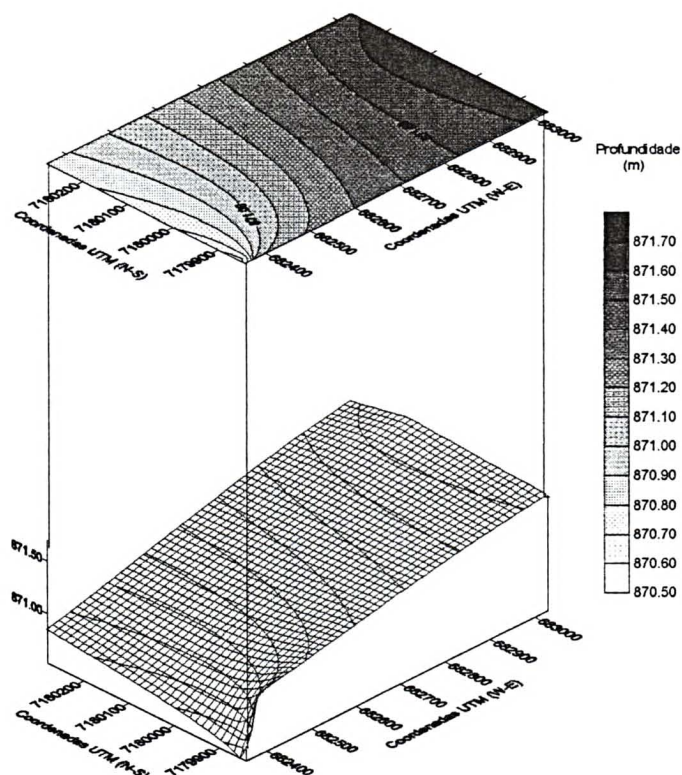


FIGURA 12
DIREÇÃO DO FLUXO DO LENÇOL FREÁTICO APÓS PERÍODO COM POUCA CHUVA

Mapa Piezométrico
14/06/95 (Pontos da Torre e da Chácara)



Mapa Piezométrico
14/06/95 - (Jardim Independência)

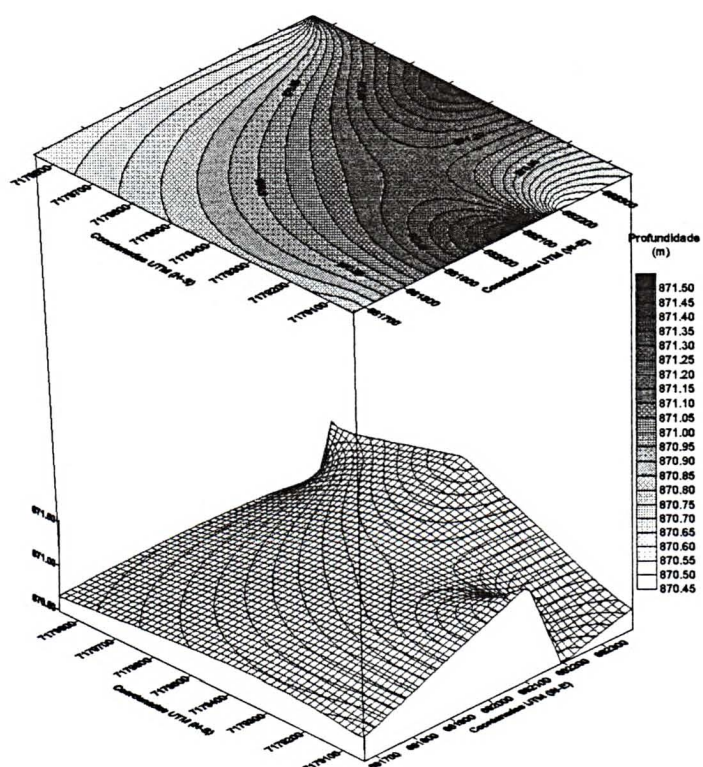
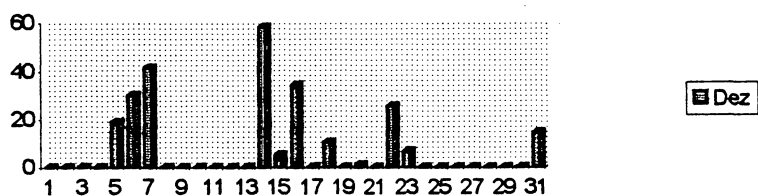
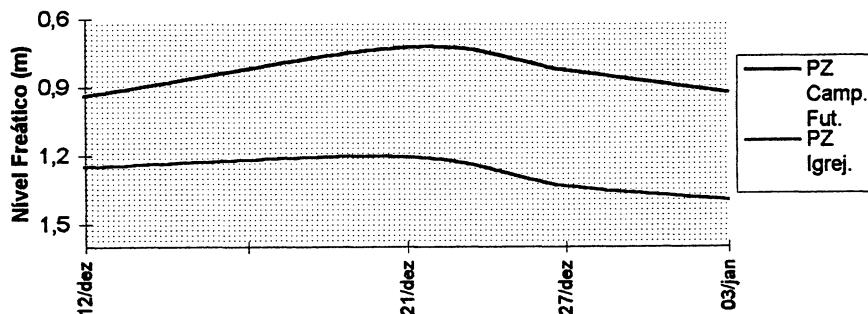


FIGURA 13
DIREÇÃO DO FLUXO DO LENÇOL FREÁTICO APÓS PERÍODO DE ESTIAGEM.

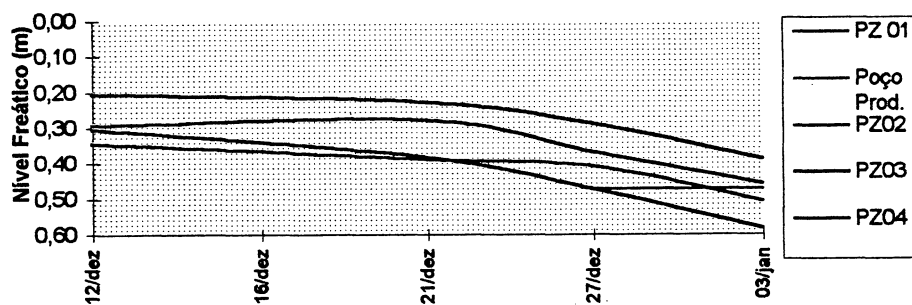
Chuvras Diárias (em mm)



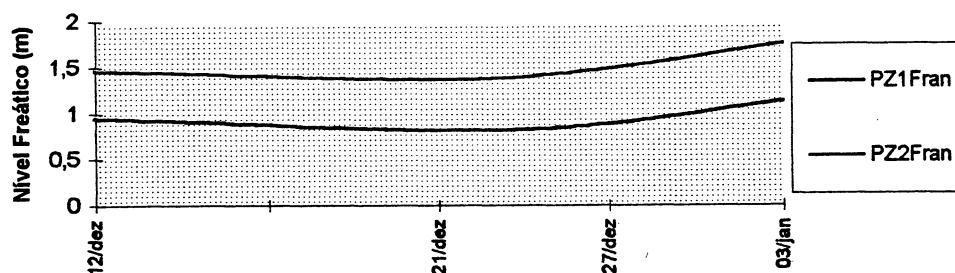
Piezômetros Igreja e Campo Futebol



Piezômetros na Torre da Eletrosul



Piezômetros Chácara dos Franceses



Piezômetros Sr. Atanásio e Sr.Fonseca

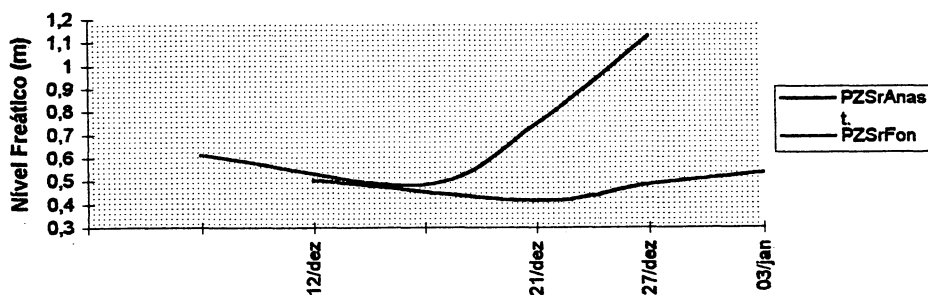
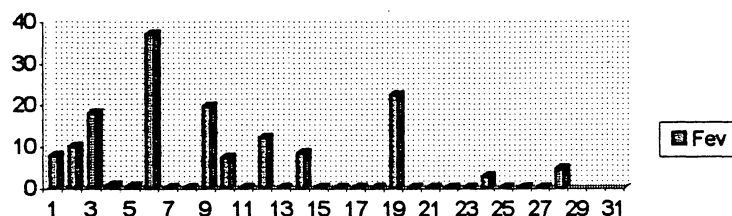
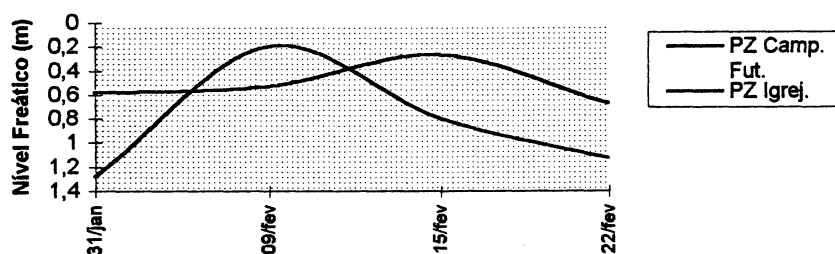


GRÁFICO 03
COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NO PERÍODO DE 12/12/94 A 03/01/95

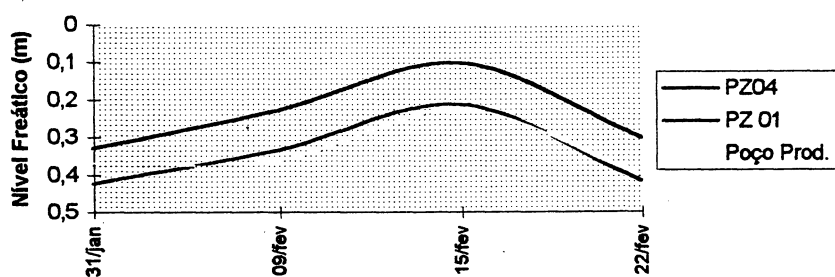
Chuvas Diárias (em mm)



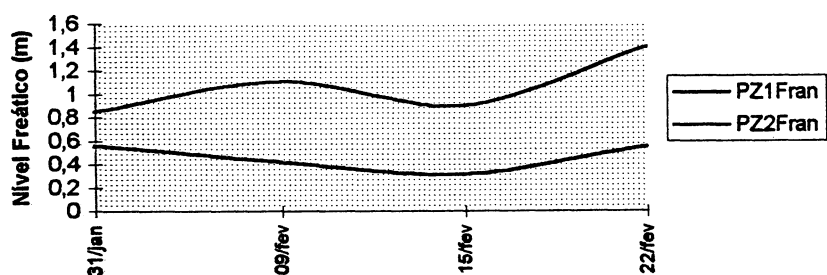
Piezômetros Igrejinha e Campo Futebol



Piezômetros na Torre da Eletrosul



Piezômetros da Chácara dos Franceses



Piezômetros Sr. Atanásio e Sr. Fonseca

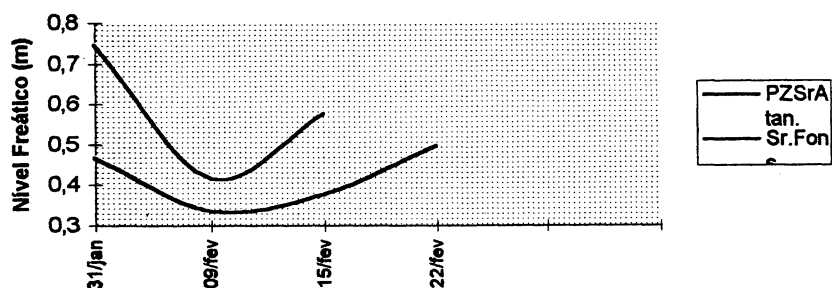
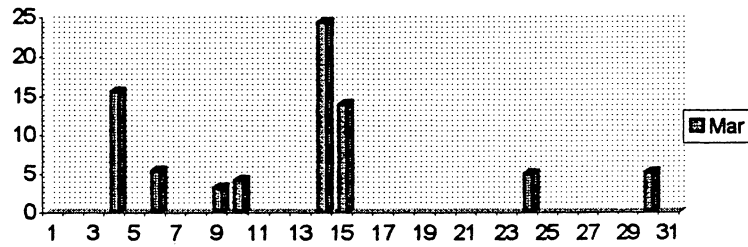
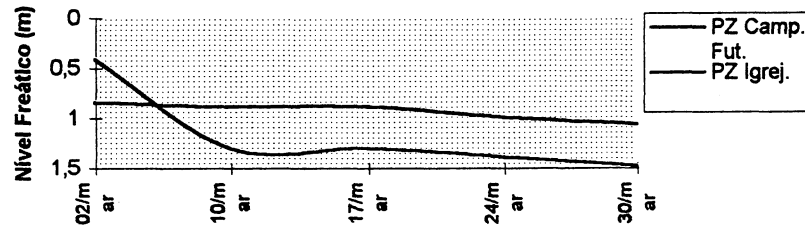


GRÁFICO 4
COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NO PERÍODO DE 31/01/95 A 22/02/95

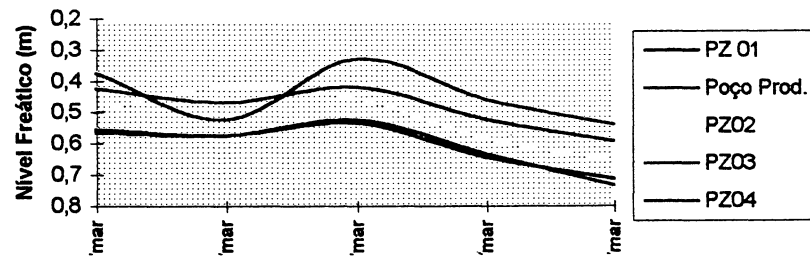
Chuvas Diárias (mm)



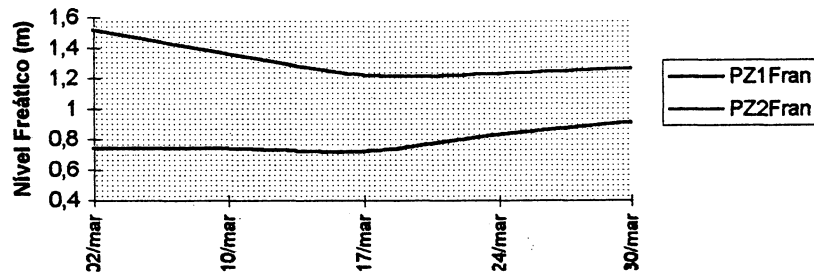
Piezômetros Igreja e Campo Futebol



Piezômetros na Torre da Eletrosul



Piezômetros da Chácara dos Franceses



Piezômetros Sr. Atanásio e Sr. Fonseca

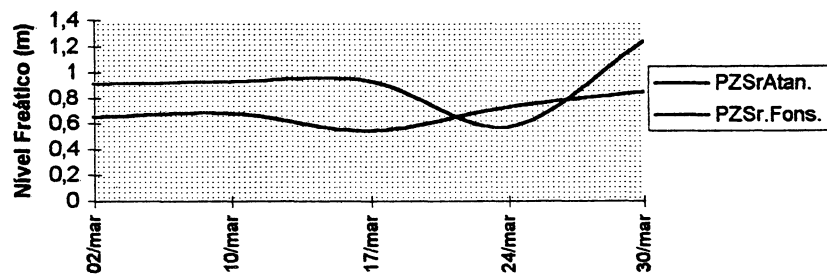
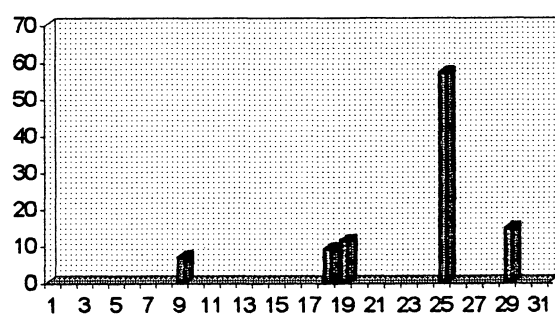


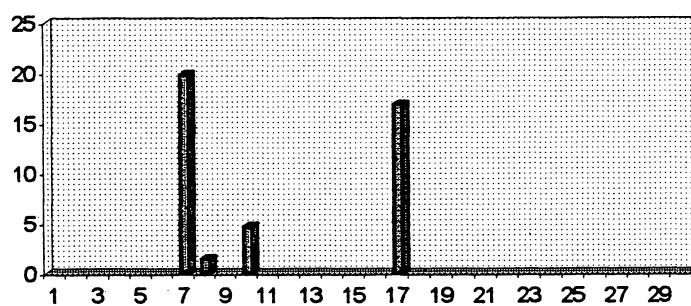
GRÁFICO 5
COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NO PERÍODO DE 02/03/95 A 30/03/95

**Chuvas Diárias
(em mm)**



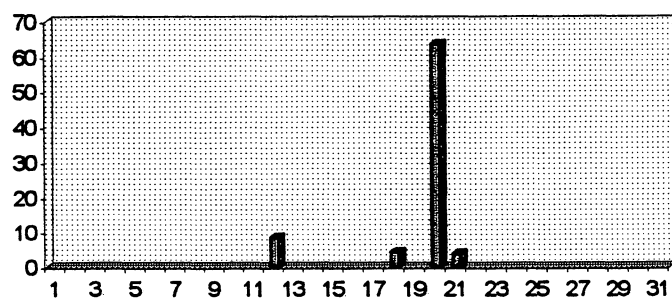
Jun

**Chuvas Diárias
(em mm)**



Mai

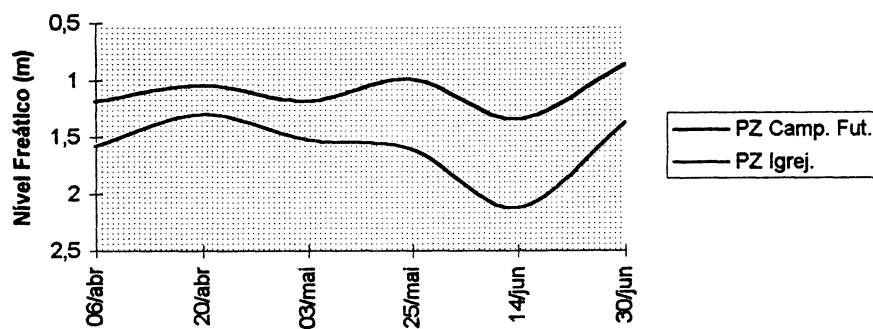
**Chuvas Diárias
(em mm)**



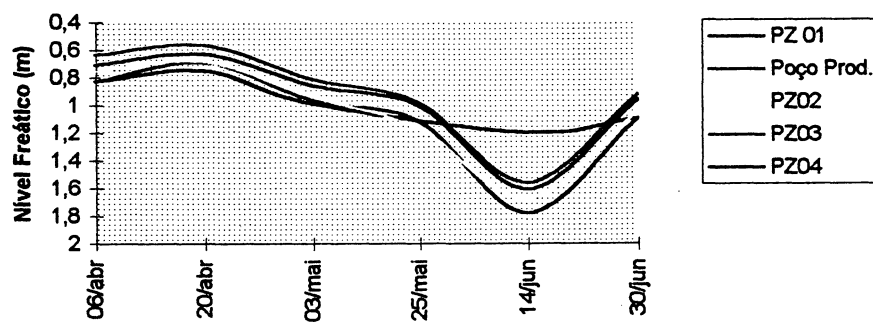
Abr

GRÁFICO 6
HISTOGRAMA DE CHUVAS NO MESES DE ABRIL, MAIO E JUNHO DE 1995
(DADOS FORNECIDOS PELO DNAEE, ESTAÇÃO FAZENDINHA)

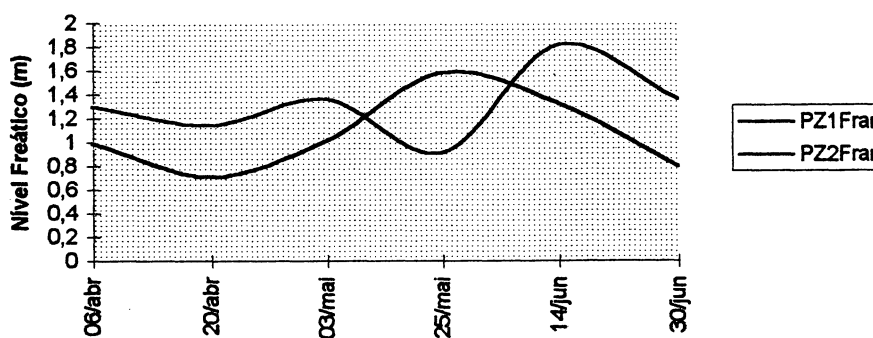
Piezômetros Igreja e Campo Futebol



Piezômetros na Torre da Eletrosul



Piezômetros da Chácara dos Franceses



PZ Sr. Atanásio e Sr. Fonseca

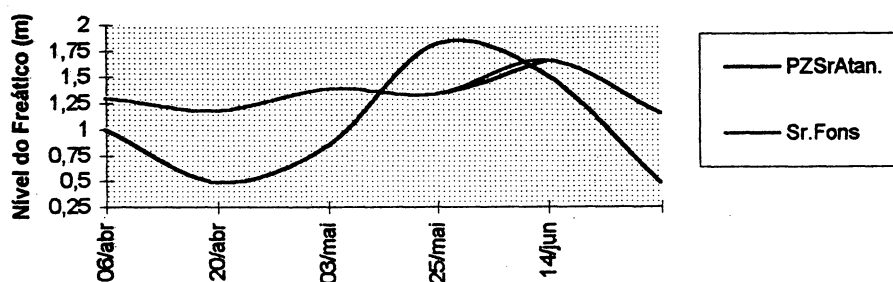


GRÁFICO 7
COMPORTAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NO PERÍODO DE 06/04 A 30/06 DE 1995

7.4 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS

7.4.1 FUNDAMENTOS BÁSICOS

Um aquífero é o meio no qual a água subterrânea flui, podendo o comportamento desta ser explicado em termos de suas propriedades de fluxo e características de armazenamento. As principais propriedades de fluxo são a condutividade hidráulica e a transmissividade, enquanto que as características de armazenamento incluem a porosidade, o coeficiente de armazenamento e a vazão específica (CLEARY, 1989).

7.4.1.1 PRINCIPAIS PROPRIEDADES

7.4.1.1.1 Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica é uma medida da habilidade do aquífero de conduzir água, em resposta a um gradiente dentro de um campo potencial, de forma física e matematicamente comparável aos campos potencial magnético e

gravitacional (CLEARY, *op cit*). Este valor é função tanto das propriedades da rocha matriz como do fluido. Estas propriedades são referidas como *porosidade* e *permeabilidade*.

7.4.1.1.2 Porosidade e Permeabilidade

A porosidade total de um determinada camada geológica representa a quantidade máxima de água que um dado volume desta camada pode conter, sendo composta pela água que drena livremente pela gravidade e pela água que fica retida nas superfícies geológicas , através da tensão superficial.

A permeabilidade (k), usada com o sentido de designar *coeficiente de permeabilidade*, é a quantidade de água que atravessa a unidade de área da seção transversal do material poroso na unidade de tempo, sob um gradiente hidráulico igual a 1, em uma temperatura dada. O gradiente hidráulico é a perda de carga em metros de água por metro do percurso através do material

7.4.1.1.3. Transmissividade

A transmissividade é a vazão, em m³ por dia ou por hora, através de uma seção vertical do aquífero de um metro de largura.

A definição matemática para a transmissividade é:

$$T=kxb \text{ (m}^2\text{/s)}$$

k = coeficiente de permeabilidade

b = espessura do aquífero

7.4.1.1.4. Coeficiente de Armazenamento (S)

O coeficiente de armazenamento é definido como sendo o volume de água que entra ou sai no aquífero, por unidade de área horizontal deste e por unidade de variação de abaixamento.

Nos aquíferos livres, o coeficiente de armazenamento tem o mesmo significado que o suprimento específico do material esvaziado durante o bombeamento. Os valores de S para aquíferos freáticos variam de 0,01 a 0,4 (CUSTÓDIO E LHAMAS, 1976).

7.4.2. TRATAMENTO MATEMÁTICO DOS DADOS

As fórmulas usadas para a determinação dos parâmetros hidrogeológicos básicos levaram em conta as condições freáticas do aquífero.

As medidas efetuadas nos ensaios de bombeamento permitiram usar, inicialmente, o método gráfico de THEIS, estabelecida a partir da equação diferencial do movimento transitório (C. E. JACOB, *in* REBOUÇAS, 1972), onde o

rebaixamento s em um poço de observação situado a uma distância r é dado pela seguinte relação:

$$s = Q / 4T\pi \left[-Ei \left(\frac{-R^2 S}{4Tt} \right) \right]$$

onde :

s = rebaixamento do nível em metro em um poço situado nas vizinhanças do poço bombeado,

Q = vazão em m³/h

T = coeficiente de transmissividade em m²/h

S = coeficiente de armazenamento

R = distância do poço de observação ao poço bombeado, em metros.

t = tempo de bombeamento em horas.

Ei = símbolo da função exponencial integral.

O método gráfico de superposição de THEIS permite obter-se uma solução simples da equação anterior , utilizando-se da função $\{u, W(u)\}$ onde :

$$u = R^2 S / 4Tt$$

$$W(u) = -Ei(-u)$$

Assim a equação pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$s = \frac{Q}{4T\pi} \times W(u)$$

O valor do coeficiente de armazenamento foi calculado a partir do rearranjo da função $\{u, W(u)\}$, tal como apresentada a seguir:

$$s = \frac{4uTt}{r^2}$$

A curva de variação da função $\{u, W, (u)\}$ foi construída em papel bilogarítmico, a partir dos valores fornecidos pelos respectivos testes de bombeamento.

7.4.3. OBTENÇÃO DOS DADOS

Reafirmando a idéia inicial de utilização destas áreas aluvionares, onde ocorreu o processo de extração de areia, como poços de grande diâmetro (PAPADOPULOS, 1967), o comportamento do aquífero tornou-se difícil de ser avaliado através de testes rotineiros de bombeamento, pois o potencial deste poderia ser subestimado.

Desta forma optou-se por avaliar os parâmetros hidrogeológicos comparativamente, ou seja, através da execução de dois testes de aquíferos : o primeiro numa cava, com grandes dimensões, e o segundo num poço de 4 polegadas.

7.4.3.1. BOMBEAMENTO DA CAVA

Para obtenção dos parâmetros hidráulicos a partir do bombeamento da cava foram inicialmente estabelecidos os seguintes condicionantes:

1. a cava deveria apresentar uma espessura considerável de areia, representativa da espessura média na região;
2. ocorrência de condições de isolamento relativamente efetivo das cavas adjacentes, para evitar efeitos de possível recarga lateral.

A partir destas premissas foi então escolhida a área do Areal do Sr. Mário Dalagassa, no Jardim Independência , São José dos Pinhais (Figura 02), onde existiam duas cavas , com formas aproximadamente retangulares, dimensões de 68x80m e 320x80m, separadas entre si por um dique natural de areia com cerca 80 metros de extensão de 9 metros de largura, e 2,5 metros de profundidade.

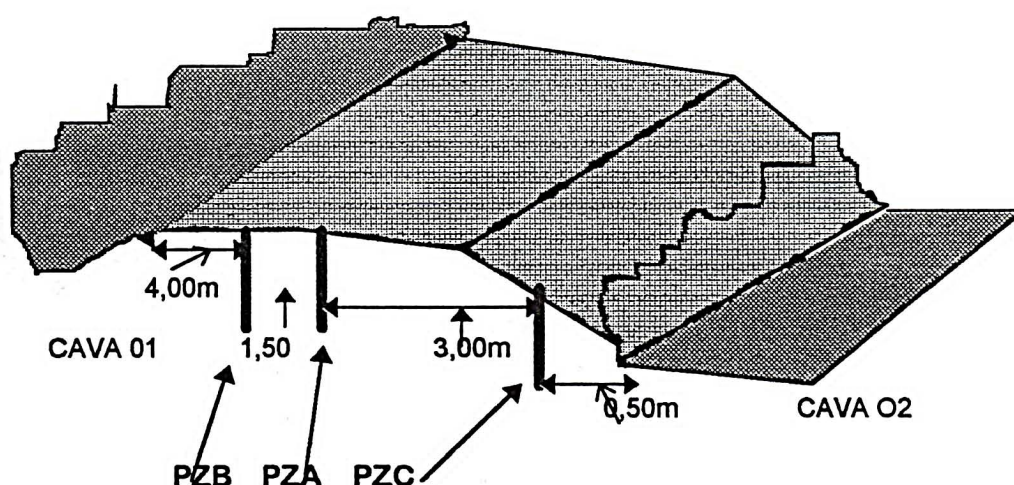


FIGURA 14
ESQUEMA DAS DUAS CAVAS UTILIZADAS PARA O TESTE COM OS PIEZÔMETROS NO DIQUE DE AREIA

Este trecho de areia, além de servir para a instalação de piezômetros objetivando o controle dos níveis durante o teste de bombeamento, também possibilitou a observação do comportamento desta areia como um meio filtrante, fato discutido no Capítulo 8. O poço de produção, no caso, eram as próprias cavas(FOTO 06).



FOTO 06

CAVAS UTILIZADAS PARA O BOMBEAMENTO COM O DIQUE DE AREIA NO CENTRO

A condição de isolamento das cavas adjacentes foi satisfeita pelo próprio minerador através da impermeabilização lateral com argila, oriunda da cobertura existente.

7.4.3.2. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

Inicialmente, procedeu-se a instalação dos três poços piezômetros. A perfuração do primeiro 1 metro foi feita com trado, manualmente, enquanto que os

dois metros restantes foram perfurados com jato d'água , através de uma coluna de 2 e 1/4 polegadas.

Numa etapa posterior, foi feito o nivelamento das cavas e dos piezômetros com um distanciômetro, adotando-se como cota universal do aparelho a cota 1000,000 , o que permitiu obter nos pontos desejados uma altura H e consequentemente as cotas absolutas.

$$PZ_A_{ha} = -1,468 \text{ m}$$

$$PZ_B_{hb} = -1,415 \text{ m}$$

$$PZ_C_{hc} = -2,088 \text{ m}$$

Altura do nível d'água na cava 01: -2,651 m

Altura do nível d'água na cava 02: -2,533 m

A diferença entre os níveis d'água das cavas, no início do teste, era de 11,8 cm, sendo que o fluxo inicial era direcionado da cava 01 para a cava 02. Com estes dados e os valores das cotas absolutas, pode-se avaliar qual a direção do fluxo durante o teste e, também, a formação do próprio cone de depressão.

O bombeamento da cava 02 foi realizado durante 24 horas, com uma bomba do próprio areal, de 6 polegadas , tendo-se adaptado o cano para saída d'água com tubos de revestimento de 8 polegadas.

O teste foi realizado em 12 de agosto de 1994 , constatando-se uma descarga média de 360 m³/h e um rebaixamento final de 41 cm. A Tabela 8 a seguir mostra a evolução do nível das cavas durante o bombeamento :

TABELA 08
EVOLUÇÃO DO NÍVEL DINÂMICO NAS CAVAS DURANTE O ENSAIO DE
BOMBEAMENTO

| HORA | ND CAVA 01 (mm) | ND CAVA 02 (mm) |
|-------------|----------------------------|----------------------------|
| 15:00 | 0 | 0 |
| 15:30 | 0 | 17 |
| 16:00 | 0 | 20 |
| 16:30 | 0 | 27 |
| 17:00 | 0 | 37 |
| 17:30 | 0 | 47 |
| 18:00 | 0 | 53 |
| 20:00 | 0 | 80 |
| 22:00 | 0 | 118 |
| 06:00 | 0 | 227 |
| 08:00 | 0 | 281 |
| 12:00 | 0 | 344 |
| 14:00 | 2 | 376 |
| 15:00 | 2 | 400 |
| 15:50 | 2 | 410 |

Os poços de observação apresentaram um rebaixamento mínimo de 0,158m (no PZB) e um rebaixamento máximo de 0,244 m (no PZC), distante 0,50m da cava 02.

A Tabela 9 mostra a evolução do nível dinâmico e os rebaixamentos registrados nos piezômetros:

Em função das cotas absolutas medidas nos piezômetros (Tabela 10) pode-se verificar que o nível piezométrico das cavas, efetivamente, sofreu um rebaixamento significativo, conseguindo produzir o cone de depressão esperado.

A recuperação do nível da cava 2 após o desligamento da bomba foi de 0,03m (3 cm) em 24 horas. Como o teste ocorreu entre uma sexta-feira e um sábado, a recuperação foi acompanhada somente até domingo, uma vez que neste dia havia necessidade do minerador abrir as cavas lateralmente para o reinício da retirada de areia.

TABELA 09
EVOLUÇÃO DO NÍVEL DINÂMICO E REBAIXAMENTO NOS PIEZÔMETROS

| HORA | ND PZA(m) | SP(M) | ND PZB(m) | SP (M) | ND PZC(m) | SP (M) |
|-------|--------------|-------|--------------|--------|--------------|-----------|
| 15:00 | 1,045 | 0,00 | 1,110 | 0,00 | 0,410 | 0,00 |
| 15:30 | 1,045 | 0,00 | 1,110 | 0,00 | 0,410 | 0,00 |
| 16:00 | 1,045 | 0,00 | 1,110 | 0,00 | 0,410 | 0,00 |
| 16:30 | 1,053 | 0,008 | 1,120 | 0,01 | 0,419 | 0,009 |
| 17:00 | 1,057 | 0,012 | 1,118 | 0,008 | 0,426 | 0,016 |
| 18:00 | 1,060 | 0,015 | 1,123 | 0,013 | 0,438 | 0,028 |
| 20:00 | 1,060 | 0,015 | 1,130 | 0,02 | 0,443 | 0,033 |
| 22:00 | 1,095 | 0,05 | 1,147 | 0,037 | 0,477 | 0,067 |
| 06:00 | 1,176 | 0,131 | 1,212 | 0,102 | 0,567 | 0,157 |
| 08:00 | 1,182 | 0,137 | 1,216 | 0,106 | 0,571 | 0,161 |
| 12:00 | 1,212 | 0,167 | 1,244 | 0,134 | 0,602 | 0,192 |
| 14:00 | 1,227 | 0,182 | 1,256 | 0,146 | 0,633 | 0,223 |
| 15:00 | 1,245 | 0,2 | 1,268 | 0,158 | 0,654 | 0,244 |

TABELA 10
EVOLUÇÃO DO NÍVEL DINÂMICO NOS PIEZÔMETROS A, B, C (ATRAVÉS DAS COTAS ABSOLUTAS)

| HORA | N D. PZ A | COTA ABSOL. | N D. PZ B | COTA ABSOL. | N D. PZ C | COTA ABSOL. |
|-------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|
| 15:00 | 1,045 | 2,513 | 1,11 | 2,525 | 0,41 | 2,498 |
| 15:30 | 1,045 | 2,513 | 1,11 | 2,525 | 0,41 | 2,498 |
| 16:00 | 1,045 | 2,513 | 1,11 | 2,525 | 0,41 | 2,498 |
| 16:30 | 1,053 | 2,521 | 1,12 | 2,535 | 0,419 | 2,507 |
| 17:00 | 1,057 | 2,525 | 1,118 | 2,533 | 0,426 | 2,514 |
| 18:00 | 1,06 | 2,528 | 1,123 | 2,538 | 0,438 | 2,526 |
| 20:00 | 1,06 | 2,528 | 1,13 | 2,545 | 0,443 | 2,531 |
| 22:00 | 1,095 | 2,563 | 1,147 | 2,562 | 0,477 | 2,565 |
| 06:00 | 1,176 | 2,644 | 1,212 | 2,627 | 0,567 | 2,655 |
| 08:00 | 1,182 | 2,65 | 1,216 | 2,631 | 0,571 | 2,659 |
| 12:00 | 1,212 | 2,68 | 1,244 | 2,659 | 0,602 | 2,69 |
| 14:00 | 1,227 | 2,695 | 1,256 | 2,671 | 0,633 | 2,721 |
| 15:00 | 1,245 | 2,713 | 1,268 | 2,683 | 0,654 | 2,742 |

Os gráficos resultantes dos testes se apresentaram com uma escassa curvatura não permitindo uma superposição adequada com a curva tipo de THEIS (Figura 15), indicando que o comportamento do nível encontrava-se ainda bastante longe da estabilização. Os parâmetros obtidos não são representativos do

aquífero, estando, possivelmente, superestimados em função das dimensões da cava.

A cava foi bombeada com uma vazão constante de $360 \text{ m}^3/\text{hora}$, entretanto esta vazão não é verdadeira, pois o volume d'água da cava acabaria se esgotando num prazo de cerca de 6 dias. Desta forma, a vazão real que o aquífero pode fornecer foi calculada em função do volume recuperado pelo tempo, através da seguinte expressão:

$$\text{Área}_{\text{cava}} \times h_{\text{recuperação}} = 31.040 \text{ m}^2 \times 0,03 \text{ m/dia}$$

$$\text{O que corresponde a: } Q = 931 \text{ m}^3/\text{dia} = 38,8 \text{ m}^3/\text{hora}$$

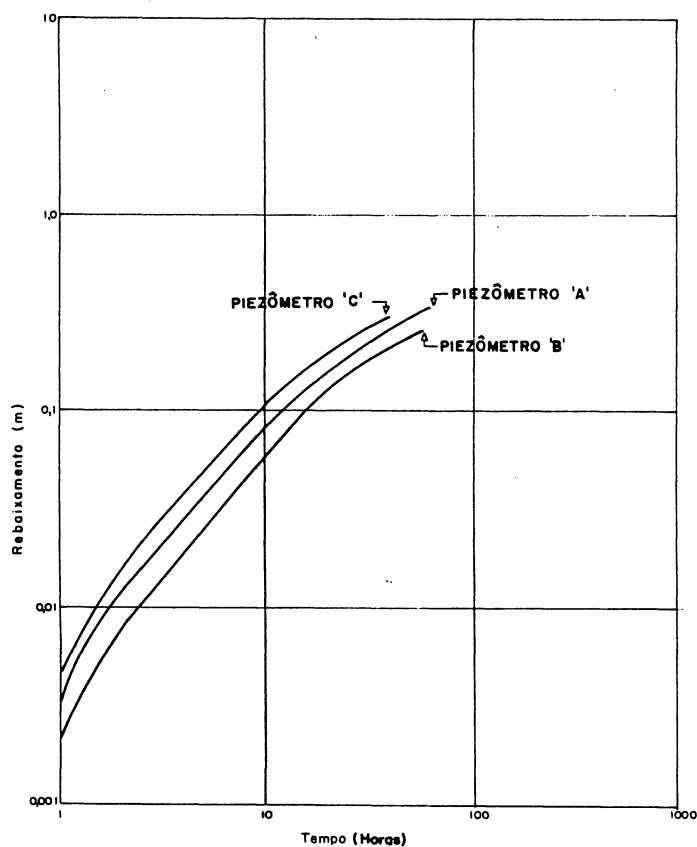


FIGURA 15
CURVA DOS POÇOS DE OBSERVAÇÃO PZA, PZB E PZC DEFINIDAS EM GRÁFICO COM ESCALA LOGARÍTIMICA

Os valores para transmissividade obtidos a partir da fórmula de THEIS, em função dos piezômetros A e C foram os seguintes:

$$T_a = 77,62 \text{ m}^2/\text{hora} \quad T_c = 18,53 \text{ m}^2/\text{hora}$$

Os valores obtidos de permeabilidade, substituindo-se na fórmula abaixo, foram de 31,04 m/hora ou 8,6 cm/s (PZA) e 7,41 m/h ou 0,20 cm/s (PZC):

$$k = T/b, \text{ onde}$$

T = transmissividade

b = espessura do aquífero

7.4.3.2. TESTE DE BOMBEAMENTO REALIZADO EM POÇO PRODUTOR DE 04"

Foi realizado outro teste de aquífero em um poço produtor de 04" , com 6,50m de profundidade e observações em mais 04 poços piezométricos (denominados de Piezômetros da Torre) próximos a Torre da Eletrosul, no Jardim Independência (Figura 02) nos dias 16 e 17 de dezembro de 1994, com tempo de bombeamento de 24 horas.

O poço foi desenvolvido durante 8 horas com início as 10:30 hs do dia 15 de dezembro de 1994.

TABELA 11
COMPORTAMENTO DOS PIEZÔMETROS NO INÍCIO DO DESENVOLVIMENTO E NO
INÍCIO DO TESTE DE AQUÍFERO

| DESENVOLVIMENTO | | | |
|--|------------------------|--------|--------|
| Data | 15 de dezembro de 1994 | | |
| Início | 10:30 hs | | |
| Término | 18:30 hs | | |
| NÍVEL ESTÁTICO (N.E.) NOS PIEZOMETROS NO INÍCIO DO DESENVOLVIMENTO | | | |
| PZ1(m) | PZ2(m) | PZ3(m) | PZ4(m) |
| 0,50 | 0,45 | 0,31 | 0,38 |

| TESTE DE AQUÍFERO | | | |
|--|----------------------------|--------|--------|
| Data | 16 /17 de dezembro de 1994 | | |
| Início | 9:15 hs | | |
| Término | 9:15 hs | | |
| NÍVEL ESTÁTICO (N.E.) NOS PIEZOMETROS NO INÍCIO DO TESTE | | | |
| PZ1(m) | PZ2(m) | PZ3(m) | PZ4(m) |
| 0,32 | 0,34 | 0,14 | 0,18 |

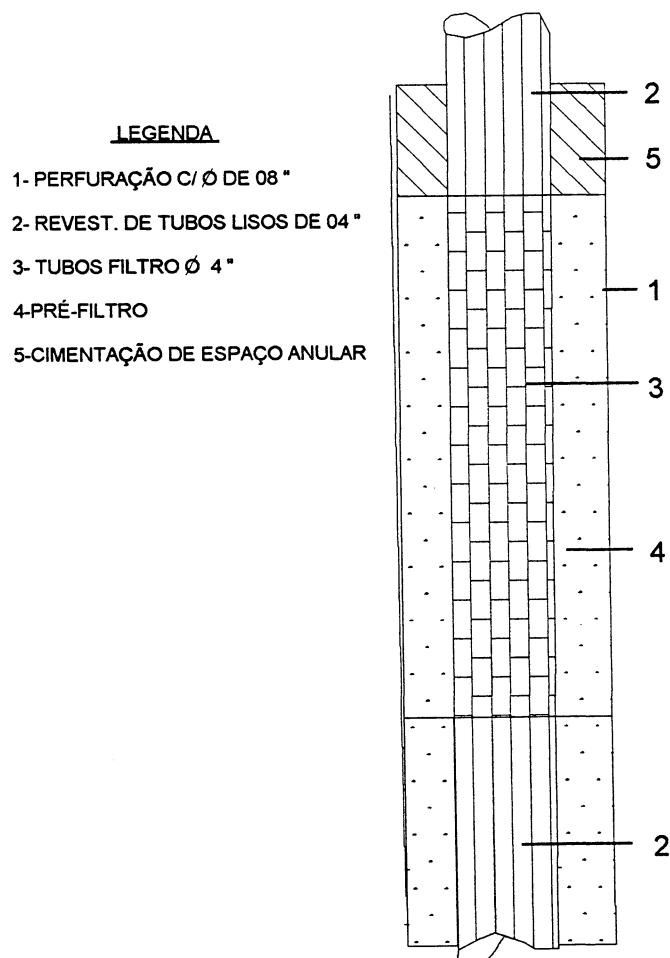


FIGURA 16
PROJETO CONSTRUTIVO DO POÇO PRODUTOR

TABELA 12
TESTE DE BOMBEAMENTO REALIZADO NO POÇO PRODUTOR DE 04 POLEGADAS

| FICHA DE TESTE DE BOMBEAMENTO | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------|------------------|-------------------|----------------------|----------------------------|
| Localidade : São José dos Pinhais | | | | | |
| Poço Produtor de 4" | Execução: SANEPAR | N.E.(m): 0,57 | N.D. (m): 1,62 | Vazão (m3/h): 9,9 | |
| HORA | TEMPO (min) | N.D. (m) | sp(m) | Q(l/h) | N.D. (m) Recup. |
| 9:21 | 1 | 1,17 | 0,60 | 9,900 | 0,92 |
| 9:24 | 3 | 1,30 | 0,73 | 9,900 | 0,85 |
| 9:29 | 5 | 1,35 | 0,78 | 9,900 | 0,80 |
| 9:34 | 10 | 1,42 | 0,85 | 9,900 | 0,75 |
| 9:39 | 15 | 1,45 | 0,88 | 9,900 | 0,70 |
| 9:44 | 20 | 1,47 | 0,90 | 9,900 | 0,67 |
| 9:49 | 25 | 1,49 | 0,92 | 9,900 | 0,65 |
| 9:54 | 30 | 1,50 | 0,93 | 9,900 | 0,63 |
| 9:59 | 40 | 1,51 | 0,94 | 9,900 | 0,61 |
| 10:10 | 50 | 1,52 | 0,95 | 9,900 | 0,60 |
| 10:20 | 60 | 1,53 | 0,96 | 9,900 | 0,59 |
| 10:40 | 80 | 1,55 | 0,88 | 9,900 | 0,60 |
| 11:00 | 100 | 1,56 | 0,99 | 9,900 | 1,02 |
| 11:20 | 120 | 1,57 | 1,00 | 9,900 | 0,57 |
| 11:50 | 150 | 1,58 | 1,01 | 9,900 | |
| 12:20 | 180 | 1,59 | 1,02 | 9,900 | Informações |
| 13:20 | 240 | 1,60 | 1,02 | 9,900 | Complementares |
| 14:20 | 300 | 1,61 | 1,04 | 9,900 | |
| 15:20 | 360 | 1,62 | 1,05 | 9,900 | Bomba (x) |
| 17:20 | 480 | 1,62 | 1,05 | 9,900 | Compressor () |
| 19:20 | 600 | 1,62 | 1,05 | 9,900 | |
| 21:20 | 720 | 1,62 | 1,05 | 9,900 | Crivo: 6,50 m |
| 23:20 | 840 | 1,62 | 1,05 | 9,900 | |
| 1:20 | 960 | 1,62 | 1,05 | 9,900 | Tubo |
| 3:20 | 1080 | 1,62 | 1,05 | 9,900 | Injeção/descarga |
| 5:20 | 1200 | 1,62 | 1,05 | 9,900 | 1 1/2 |
| 7:20 | 1320 | 1,62 | 1,05 | 9,900 | |
| 9:20 | 1440 | 1,62 | 1,05 | 9,900 | Equipe: Rogério/Antonio |

TABELA 13
MEDIDAS REALIZADAS NOS PIEZÔMETROS DURANTE O TESTE DO POÇO
PRODUTOR DE 4 POLEGADAS

| HORA | TEMPO (min) | PZ01 | SP (m) | PZ02 | SP (m) | PZ03 | SP (m) | PZ04 | SP (m) |
|-------|----------------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|
| 9:21 | 1 | 0,93 | 0,61 | 0,68 | 0,34 | 0,49 | 0,35 | 0,39 | 0,21 |
| | 3 | 1,01 | 0,69 | 0,84 | 0,50 | 0,59 | 0,45 | 0,47 | 0,29 |
| | 5 | 1,04 | 0,72 | 0,89 | 0,55 | 0,62 | 0,48 | 0,48 | 0,30 |
| | 10 | 1,10 | 0,78 | 0,94 | 0,60 | 0,69 | 0,55 | 0,53 | 0,35 |
| | 15 | x | | x | x | x | x | x | x |
| | 20 | 1,14 | 0,82 | 0,97 | 0,63 | 0,71 | 0,57 | 0,64 | 0,40 |
| | 25 | x | | x | x | x | x | x | x |
| | 30 | 1,15 | 0,83 | 1,01 | 0,67 | 0,73 | 0,59 | 0,67 | 0,49 |
| | 40 | 1,16 | 0,84 | 1,04 | 0,70 | 0,75 | 0,61 | 0,67 | 0,49 |
| | 50 | 1,20 | 0,88 | 1,04 | 0,70 | 0,78 | 0,64 | 0,70 | 0,52 |
| 10:20 | 60 | 1,22 | 0,90 | 1,06 | 0,72 | 0,79 | 0,65 | 0,71 | 0,53 |
| 10:40 | 80 | 1,22 | 0,90 | 1,06 | 0,72 | 0,79 | 0,65 | 0,71 | 0,53 |
| 11:00 | 100 | 1,23 | 0,91 | 1,07 | 0,73 | 0,80 | 0,66 | 0,72 | 0,54 |
| 11:20 | 120 | 1,23 | 0,91 | 1,07 | 0,73 | 0,80 | 0,66 | 0,72 | 0,54 |
| 11:50 | 150 | 1,24 | 0,92 | 1,08 | 0,74 | 0,81 | 0,67 | 0,73 | 0,55 |
| 12:20 | 180 | 1,25 | 0,93 | 1,09 | 0,75 | 0,82 | 0,68 | 0,74 | 0,56 |
| 13:20 | 240 | 1,26 | 0,94 | 1,10 | 0,76 | 0,83 | 0,69 | 0,74 | 0,56 |
| 14:20 | 300 | 1,27 | 0,95 | 1,11 | 0,77 | 0,84 | 0,70 | 0,76 | 0,58 |
| 15:20 | 360 | 1,27 | 0,95 | 1,11 | 0,77 | 0,84 | 0,70 | 0,76 | 0,58 |
| 17:20 | 480 | 1,27 | 0,95 | 1,11 | 0,77 | 0,84 | 0,70 | 0,76 | 0,58 |
| 19:20 | 600 | 1,27 | 0,95 | 1,11 | 0,77 | 0,84 | 0,70 | 0,76 | 0,58 |
| 21:20 | 720 | 1,27 | 0,95 | 1,11 | 0,77 | 0,84 | 0,70 | 0,76 | 0,58 |
| 23:20 | 840 | 1,27 | 0,95 | 1,11 | 0,77 | 0,84 | 0,70 | 0,76 | 0,58 |
| 1:20 | 960 | 1,27 | 0,95 | 1,11 | 0,77 | 0,84 | 0,70 | 0,76 | 0,58 |
| 3:20 | 1080 | 1,27 | 0,95 | 1,11 | 0,77 | 0,84 | 0,70 | 0,76 | 0,58 |
| 5:20 | 1200 | 1,27 | 0,95 | 1,11 | 0,77 | 0,84 | 0,70 | 0,76 | 0,58 |
| 7:20 | 1320 | 1,27 | 0,95 | 1,11 | 0,77 | 0,84 | 0,70 | 0,76 | 0,58 |
| 9:20 | 1440 | 1,27 | 0,95 | 1,11 | 0,77 | 0,84 | 0,70 | 0,76 | 0,58 |

As distâncias dos piezômetros com relação ao poço produtor estão indicadas na Figura 17.

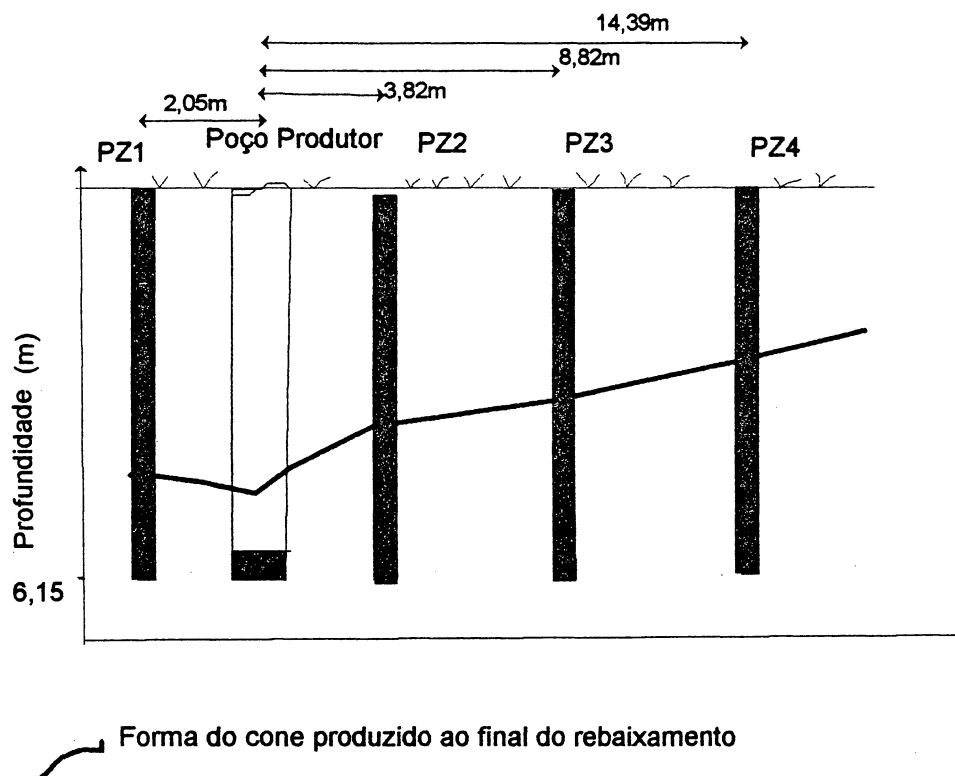


FIGURA 17
DISTÂNCIA DOS PIEZÔMETROS EM RELAÇÃO AO POÇO PRODUTOR

Os gráficos de rebaixamento pelo tempo puderam ser superpostos à Curva Padrão de THEIS (Figuras 18 e 19), permitindo o cálculo da Transmissividade, Permeabilidade e do Coeficiente de Armazenamento.

A camada aquífera foi considerada como tendo espessura igual extensão a dos filtros instalados em cada piezômetro, correspondente à espessura máxima da camada saturada de água.

Os parâmetros que foram obtidos a partir dos dados coletados no teste de aquífero podem ser visualizados nas Tabelas 14 e 15.

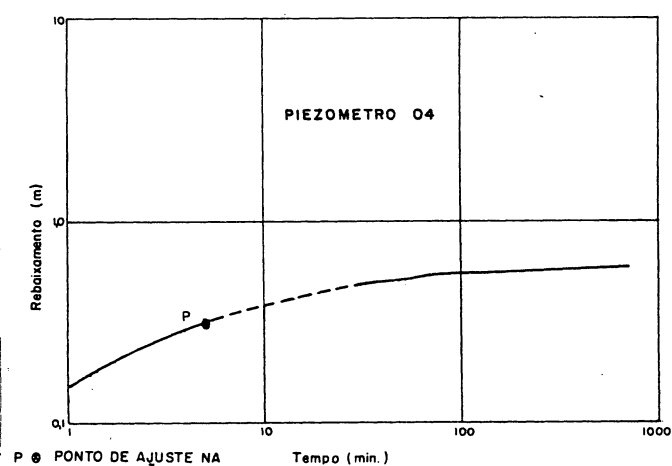
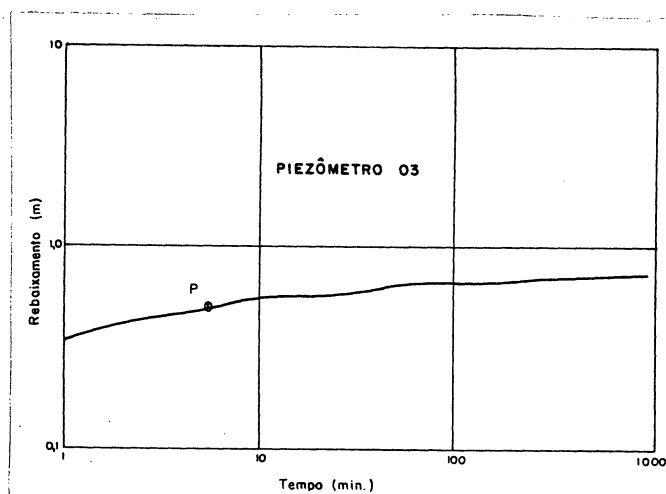
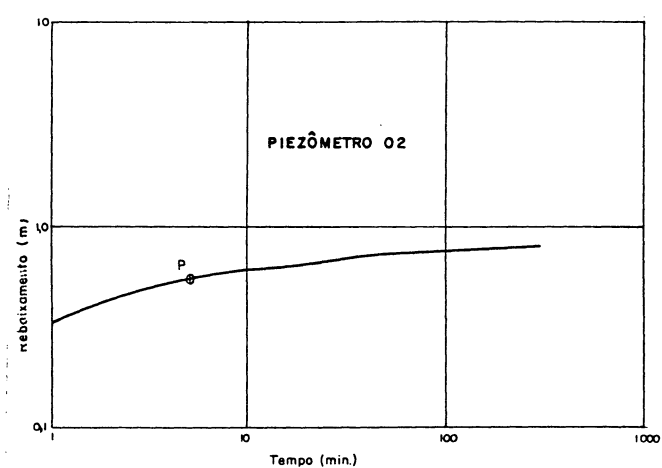
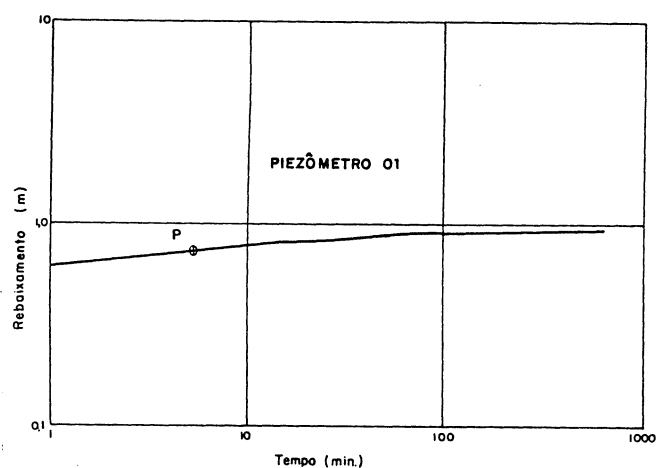
TABELA 14
DADOS UTILIZADOS NA OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS HIDRÁULICOS

| POÇO PRODUTOR | PZ01 | PZ02 | PZ03 | PZ04 |
|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Diâmetro de 4", perfuração em 8" | Diâmetro=2" | Diâmetro=2" | Diâmetro=2" | Diâmetro=2" |
| NE=0,57 m | NE=0,32 m | NE=0,34 m | NE=0,14 m | NE=0,18 m |
| ND _{final} =1,62 | Nd _{final} =1,27 | Nd _{final} =1,11 | Nd _{final} =0,84 | Nd _{final} =0,76 |
| sp _{final} =1,05 | sp _{final} =0,95 | sp _{final} =0,77 | sp _{final} =0,70 | sp _{final} =0,58 |
| Vazão=9,9 m ³ /h | r _{pz1-prod} =2,05 | r _{pz1-prod} =3,82 | r _{pz1-prod} =8,82 | r _{pz1-prod} =14,39 |

TABELA 15
CÁLCULO DOS PARÂMETROS ATRAVÉS DO MÉTODO DE THEIS

| PIEZO METRO | SP | TEMPO (min) | ESPESS. (m) | W(u) | 1/u | TRANS. (m ² /h) | S | K (m/s x10 ⁻⁴) | K (m/dia) |
|-------------|------|-------------|-------------|------|------|----------------------------|--------|----------------------------|-----------|
| PZ01 | 0,69 | 3 | 4 | 0,86 | 3,15 | 0,98 | 0,15 | 0,68 | 6 |
| PZ02 | 0,5 | 3 | 4 | 0,97 | 3,65 | 1,53 | 0,0056 | 1,06 | 9,15 |
| PZ03 | 0,48 | 5 | 4 | 1,43 | 1,68 | 2,35 | 0,006 | 1,631 | 14,09 |
| PZ04 | 0,3 | 5 | 4 | 1,43 | 1,68 | 3,76 | 0,003 | 2,61 | 22,5 |

Os valores dos parâmetros hidrodinâmicos encontrados podem ser considerados satisfatórios uma vez que os coeficientes de armazenamento confirmam o caráter livre do aquífero (PZ01) e também indicam um semi-confinamento da camada arenosa, o que é possível em função da presença da camada argilosa sobreposta.



P • PONTO DE AJUSTE NA CURVA PADRÃO

FIGURA 18
CURVA DOS POÇOS DE OBSERVAÇÃO PZ01, PZ02, PZ03 E PZ04 DEFINIDAS EM GRÁFICO COM ESCALA LOGARÍTIMICA

7.4.4. AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE

Os métodos mais comuns de avaliação da permeabilidade de aquíferos arenosos são aqueles baseados no tamanho dos grãos (UMA, 1994).

Algumas vezes os valores obtidos de k através destes métodos não são comparáveis no mesmo ponto de forma confiável, com aqueles oriundos de testes de bombeamento os quais refletem *in situ* características das areias.

Deve ser levado em conta também o fato de que o parâmetro permeabilidade é bastante sensível, ou seja, as menores variações de granulometria e composição influenciam de maneira significativa nos resultados (CUSTÓDIO E LHAMAS, 1976).

Três tipos de dados foram usados neste estudo: aqueles obtidos através dos testes de bombeamento; os calculados através da análise granulométrica das areias coletadas nas sondagens à jato d'água e, por fim, os obtidos pela análise granulométrica das areias coletadas nas cavas (total de 10) .

As amostras que foram coletadas através das sondagens e que puderam ser aproveitadas para as análises granulométricas foram um total de 36 amostras. Devido ao tipo de sondagem , jato d'água, não foi obedecido um intervalo para amostragem.

As análises granulométricas, foram divididas e realizadas realizadas em três laboratórios, a saber: Laboratório de Análise Sedimentológica do Departamento de Geologia da UFPR; Laboratório de Sedimentologia-Análise Granulométrica do IAP (Instituto Ambiental do Paraná) e Laboratório de Análise Granulométrica da STE-Serviços Técnicos de Engenharia S.A. (Canoas-RS).

A metodologia empregada nos três laboratórios foi a seguinte:

- dispersão da massa seca com pirofosfato de sódio trihidratado ($\text{Na}_3\text{P}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) sob agitação mecânica de duração prolongada (10 minutos);
- elutriação através de fluxo d'água ascendente para eliminação do sobrenadante pelítico;
- peneiramento do resíduo da elutriação.

Como os dados obtidos não foram em grande número optou-se por obter um índice médio para o valor da permeabilidade. Estes valores foram calculados a partir dos ensaios de bombeamento, da Fórmula de Hazen e comparativamente pelas Curvas de Bredding (CUSTÓDIO E LHAMAS, 1976). O fato da espessura do aquífero ser conhecida com boa precisão tornou os valores de k , calculados a partir dos ensaios de bombeamento, bastante aceitáveis.

Os dados das sondagens a jato d'água não podem, no entanto serem comparados em qualidade com aqueles dos testes de bombeamento realizados e das amostras coletadas diretamente nas cavas.

À partir da Fórmula de Hazen, abaixo especificada, foram calculados os valores de permeabilidade resultantes das curvas granulométricas (CUSTÓDIO E LHAMAS, *op cit*).

$$K_o = c x d_{10}^2$$

onde,

c = constante

d_{10} = diâmetro equivalente ao percentil 10% da curva granulométrica acumulativa

O valor de c utilizado foi **100**, que de acordo com CUSTÓDIO E LHAMAS (*op cit*) é o índice mais usual. Os resultados devem ser tomados como orientativos pois as amostras apresentaram uma grande dispersão.

Os resultados obtidos apontaram duas tendências: a) alta permeabilidade, com valor médio de 0,5 cm/s (compatível para areias grosseiras e b) baixa permeabilidade, com valor de 2×10^{-2} cm/s, indicando camadas mais argilosas (HOFKES & VISSCHER, 1986)

Os resultados do Coeficiente de Permeabilidade apresentados pela camada aquífera representada pelos depósitos arenosos, foram comparadas às Curvas de Bredding (CUSTÓDIO E LHAMAS, 1976) obtendo-se como ordem de grandeza valores entre 10^{-1} e 10^{-4} , indicativos de uma permeabilidade variando entre 0,7 cm/s e 7×10^{-4} cm/s.

As análises granulométricas realizadas com o material coletado na construção do poço de 4 polegadas revelaram uma permeabilidade média de 0,044 cm/s ou 38,2 m/dia.

Os dados obtidos no teste de bombeamento do referido poço, por sua vez, revelaram uma permeabilidade relativamente baixa, em média $1,50 \times 10^{-4}$ cm/s (ou 13 m/dia).

7.4.5. ESTIMATIVA DA RESERVA DE ÁGUA

Para efeitos de cálculo da reserva de água, considerando-se as permeabilidades obtidas anteriormente, foi utilizada uma porosidade média (teórica) de 13% para a região (CUSTÓDIO E LHAMAS, *op cit*).

O nível freático médio, obtido a partir das medições efetuadas, durante período de monitoramento situa-se a 0,78m de profundidade, podendo variar entre 1,20m (mínimo) e 0,38 m (máximo).

A profundidade considerada para o cálculo das reservas foi baseada nos seguintes critérios: a) estratigráfico: existência de um nível de base impermeável; b) limite da superfície do terreno, de acordo com as épocas de estiagem e de precipitações mais intensas.

Com base nos dados e premissas anteriores obteve-se foi a **reserva máxima e mínima** da região efetivamente ocupada pelas cavas (1.619.334 m²) durante a execução deste projeto, conforme referido no item 6.3.4.

Foram realizados os seguintes procedimentos :

1. Primeiramente foi efetuado o cálculo da quantidade de água levando-se em consideração o aspecto natural do aquífero ou seja, a quantidade de água armazenada numa camada aquífera arenosa de 2,5m de espessura, na região da planície aluvionar do rio Pequeno, confluência com o rio Iguaçu. Os resultados obtidos foram:

Reserva Máxima

Área (m²) x (Espessura - N_{freático máximo}) x porosidade média

$$R_{\text{máx}} = 1.619.334 \text{ m}^2 \times (2,5 - 1,20) \times 13\%$$

$$\text{Total} = 273.667,44 \text{ m}^3$$

Reserva Mínima

Área (m²) x (N_{freático máximo} - N_{freático mínimo}) x porosidade média

$$R_{\text{mín}} = 1.619.334 \text{ m}^2 \times (1,20 - 0,38) \times 13\%$$

$$\text{Total} = 172.442,40 \text{ m}^3$$

Entretanto, quando uma cava é aberta toda a cobertura acima deste nível é retirada, inclusive o solo. Como consequência, que ocorre, então, é a geração de um grande espaço vazio, totalmente preenchido por água, provocando um incremento da capacidade de armazenamento, pois, teoricamente, a porosidade atinge 100%.

Portanto, o volume real para o período de monitoramento, levando em consideração o volume armazenado nas cavas, seria de:

$$V_{total} = Área_{total} \times Z_{média}$$

$$V = 1.619.334 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ m} = 4.048.335 \text{ m}^3$$

Este volume é o **máximo** acumulado nos períodos de maiores precipitações, correspondendo também ao período de maior recarga. Nos meses de estiagem, este armazenamento é cedido gradativamente para o rio, conforme anteriormente comentado no item 7.3.

Considerando-se um período crítico de estiagem de três meses (junho, julho e agosto) o volume calculado pode ser transformado em vazão como se segue:

$$Q = v/t$$

$$Q = 4.048.335 \text{ m}^3 / 7.776.000 \text{ s}$$

$$Q = 0,52 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 520 \text{ litros/s}$$

Apesar dos processos de evapotranspiração e retenção específica do solo poderem reduzir este valor em cerca de 30%, obter-se-ia uma vazão de 364 l/s, representando 12 % do que hoje é produzido na Captação do Sistema Iguaçu (DALARMI, 1995).

Obviamente uma parte deste volume não é aproveitável imediatamente, em função do uso e da ocupação atual do solo, que provocam na região um grau

elevado de degradação. Entretanto, esta reserva estratégica certamente pode diminuir rapidamente e a baixo custo a pressão existente sobre as formas atuais de abastecimento, desde que sejam elaborados estudos integrados para o gerenciamento do uso do solo na região.

7.4.6. CONCLUSÕES GERAIS SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

As curvas obtidas através do bombeamento da cava apresentaram uma escassa curvatura, podendo inferir-se que o tempo de bombeamento não foi suficientemente longo para permitir a estabilização do nível.

Os dados de transmissividade e de permeabilidade calculados através deste teste são discrepantes entre si, ou seja, não foram encontrados índices aproximados para os piezômetros, provavelmente devido a proximidade destes com a cava, inferior a 5,0m e também devido as dimensões deste dispositivo.

Os resultados alcançados pelas análises granulométricas, conjugados com os parâmetros hidrogeológicos, são compatíveis com um aquífero regular a médio, de acordo com a classificação de BREDDING (*apud* CUSTÓDIO E LHAMAS, 1976).

Os parâmetros encontrados, de uma forma geral, mesmo exibindo uma grande dispersão, são coerentes com o perfil litológico da região, ou seja, pouca espessura de areia, adelgaçamento lateral e teor variável de argila nos diversos níveis existentes.

Os resultados mostram também que os parâmetros físicos do aquífero aluvionar não estão uniformemente distribuídos, revelando que os cálculos de transmissividade e a distribuição da permeabilidade de uma sequência sedimentar, não são fatores suficientes para determinar quais as porções da sequência foram saturadas pela circulação da água subterrânea. Na realidade, estes parâmetros apenas definem caminhos favoráveis para o fluxo desta água (GALLOWAY, 1983).

8.0. MEIO FILTRANTE

O emprego de processos de filtragem por areia é usado desde muito antigamente, onde reproduziam-se artificialmente fenômenos naturais que permitiam obter-se água clara em poços abertos nos aluviões de rios, cujas águas muito turvas sofriam uma significativa redução de bactérias patógenas.

A filtragem é um processo complexo, envolvendo não somente a ação mecânica de "coar" mas também o resultado de uma série de fenômenos simultâneos físicos, químicos, biológicos e bioquímicos (TÉCNICAS de abastecimento e tratamento de água, 1974).

Os fenômenos físicos são os seguintes:

- Coar: retenção das partículas maiores que os interstícios existentes entre os grãos de areia.
- Sedimentação: processa-se sobre a superfície da areia durante o tempo em que a água permanece sobre o leito filtrante.
- Adsorção e Absorção

Os fenômenos químicos envolvem:

- Oxidação da matéria orgânica presente na água, transformando os sólidos dissolvidos de natureza orgânica em compostos inofensivos.
- Ionização dos grãos, mantendo-os carregados eletricamente.

Os fenômenos biológicos mais importantes são caracterizados pelo desenvolvimento de certas variedades de bactérias anaeróbicas na superfície dos grãos num tempo relativamente curto. A ação vital destas bactérias forma uma película em toda a superfície do leito filtrante. Imediatamente abaixo desta, as partículas de areia ficam envolvidas por uma "geléia" de bactérias, semelhante em composição a película superficial.

As partículas muito finas de matéria suspensa; as bactérias presentes, os corpos em dissolução coloidal e aqueles que colore a água, que facilmente passariam pelos interstícios formados pelos grãos de areia, são retidas pela mencionada "geléia" de bactérias. Os componentes orgânicos utilizados em solução são também absorvidos por essas bactérias e convertidos através de seus processos digestivos.

Os efeitos da película filtrante crescem com o tempo, portanto, a ação de um leito filtrante depende principalmente dessa película de bactérias em suas camadas superiores, tornando-se evidente que um leito de areia limpa não poderá operar eficientemente.

Os fenômenos bioquímicos são representados por as ações de contato, as quais dependem da concentração de certas substâncias presentes e da tensão superficial da película formada. Ocorrem, ainda, através de ataques por enzimas ao material presente na água, provocando a remoção dos produtos de decomposição.

Os filtros construídos para utilização em estações de tratamento d'água normalmente são constituídos a base de uma camada de areia com permeabilidade entre 120 e 360 m/dia. No caso de filtros com duas camadas

utilizam-se permeabilidades entre 240 a 480 m/dia. Além disto, tais filtros também devem possuir as seguintes características (RICHTER, 1991):

- espessura da camada: 0,55 m
- tamanho efetivo: 0,5 a 0,6 mm
- tamanho mínimo: 0,42 mm
- tamanho máximo: 1,2 mm

A partir destes conceitos básicos logrou-se utilizar as cavas como simuladoras de um sistema real que conduzisse a um modelo físico o mais sensível possível.

Isto posto, procedeu-se a elaboração do experimento no trecho de areia preservado pelo dono da empresa mineradora o qual separava uma cava da outra.

Neste local foi apenas removida a camada superficial de argila, conservando-se, portanto, as características originais da deposição.

As dimensões deste leito filtrante, conforme já citadas no item 7.4.3.1, são as seguintes: 80m de extensão longitudinal, 2,5 metros de espessura, 9 m de largura lateral.

Foram recolhidas amostras para análises granulométricas deste "muro" de areia bem como durante as sondagens, a qual foi realizada até 1,0m com trado, e o restante com jato d'água.

A Tabela 16 mostra os valores do coeficiente de uniformidade e do tamanho efetivo obtidos através das análises granulométricas.

As amostras lavadas, ou seja, coletadas durante a perfuração a jato d'água mostraram, como esperado, altíssima permeabilidade. Porém os resultados das outras amostras também apresentaram índices significativamente altos. Os resultados encontrados não devem ser tomados, como representativos de todo o

aquífero, pois conforme destacado nos capítulos anteriores não existe uma homogeneidade litológica nos depósitos aluvionares.

Os resultados das análises bacteriológicas coletadas durante o teste nos piezômetros são apresentados na Tabela 17:

TABELA 16
VALORES OBTIDOS PARA OS ENSAIOS GRANULOMÉTRICOS REALIZADOS COM MATERIAL COLETADO NO "MEIO FILTRANTE"

| FURO | INTERVALO | D10 | D40 | D60 | D90 | COEF. DE UNIFORMIDADE. |
|----------|------------|-----|------|------|------|------------------------|
| PZA | lavada | 3,1 | 1,30 | 0,82 | 0,3 | 0,26 |
| ArealDal | Meio Filt. | 2,2 | 0,90 | 0,50 | 0,28 | 0,23 |
| PZB | lavada | 3,0 | 1,40 | 0,25 | 0,80 | 0,08 |
| PZB | in situ | 2,0 | 0,95 | 0,70 | 0,31 | 0,35 |
| PZC | lavada | 3,5 | 1,50 | 0,80 | 0,31 | 0,23 |
| PZA | in situ | 3,0 | 1,10 | 0,60 | 0,20 | 0,20 |
| PZB | 2,6-lavad. | 3,8 | 1,70 | 1,20 | 0,70 | 0,32 |
| PZC | 0,22 situ | 2,4 | 0,90 | 0,60 | 0,25 | 0,25 |

TABELA 17
ANÁLISE BACTERIOLÓGICA NAS CAVAS E NOS PIEZÔMETROS INSTALADOS NO "MEIO FILTRANTE" APÓS 24 HORAS DE BOMBEAMENTO

| LOCAL | COLIFORMES POR 100 ml | |
|---------|-----------------------|-------|
| | TOTAL | FECAL |
| Cava 01 | 1900 | 500 |
| Cava 02 | 1600 | 300 |
| PZA | 800 | 200 |
| PZB | 700 | 100 |
| PZC | 500 | 100 |

Os piezômetros PZA, PZB e PZC apresentaram uma redução de 42%, 37% e 26% , respectivamente na quantidade de coliformes totais. No número de coliformes fecais o PZA, o qual se encontrava no centro do leito de areia, apresentou uma redução de 40 % enquanto que os outros apresentaram reduções de 20%.

No dia 22 de agosto, ou seja, 10 dias após a primeira, foi feita nova amostragem e os resultados das análises bacteriológicas foram os seguintes:

TABELA 18
ANÁLISE BACTERIOLÓGICA OBTIDA 10 DIAS APÓS O TESTE DE BOMBEAMENTO,
(AMOSTRAS COLETADAS DURANTE OS TRABALHOS DE EXTRAÇÃO DE AREIA)

| LOCAL | COLIFORMES POR 100 ml | |
|----------------|-----------------------|-------|
| | TOTAL | FECAL |
| Cava 01 | 6.400 | 3.500 |
| Cava 02 | 6.400 | 3.500 |
| PZB | 1.800 | 300 |

Neste dia ambas as cavas apresentavam o mesmo valor tanto para os coliformes totais como para os coliformes fecais, enquanto que no leito de areia a quantidade estes parâmetros sofreram uma redução de cerca de 72% e 90%, respectivamente .

Este experimento mostra, em escala reduzida, o que vem acontecendo na região, ou seja, o processo de filtragem natural da planície aluvionar.

Este processo é depurativo, uma vez que as águas residuais dos diversos conjuntos habitacionais situados nas partes mais elevadas, próximos as cavas, assim como dos próprios moradores nas partes baixas e próximas ao rio, vem sendo jogadas dentro destas. Na realidade, enquanto as cavas recebem esta

carga contaminante o aluvião filtra, transmitindo ao rio, durante os períodos de estiagem, águas de melhor qualidade.

Tal fato é de grande importância, enquanto elemento futuro de planejamento, visando a diminuição dos custos de tratamento convencionais.

Conforme descrito no livro “ÁGUA subterrânea e poços tubulares”,(1969) desde o início do século vem sendo desenvolvidas experiências e observações sobre o movimento de bactérias através de materiais granulares e porosos.

O processo de percolação remove muitos contaminantes, evitando que os mesmos alcancem o reservatório de água subterrânea .

Uma experiência interessante, ocorrida há mais de 50 anos, é relatada por no citado livro sobre o deslocamento de bactérias nas proximidades de fossas secas. Nos materiais onde os grãos possuíam tamanhos efetivos de 0,001 a 0,127 mm e coeficientes de uniformidade de 7,5 a 9,2, as bactérias moviam-se com a mesma velocidade da água subterrânea através dos primeiros 1,50m. Decorridos três dias apenas algumas migraram 4,5m das fossas secas. Depois de dois meses, os coliformes foram encontrados em apenas 40% das amostras recolhidas.

Numa camada menos permeável, com tamanho efetivo de 0,76 e coeficiente de uniformidade igual a 5,2 , surgiram, após 35 dias, bactérias coliformes a uma distância de 3 m, e nenhum organismo foi encontrado além de 4,5m.

Uma camada de areia fina com 30cm de espessura , tamanho efetivo dos grãos de 0,076 mm e coeficiente de uniformidade igual a 3,7, envolvendo a cavidade da latrina, impediu o movimento das bactérias além de 3m da fossa. As amostras colhidas à 60 cm da fossa, depois desta haver sido abandonada, não apresentaram nenhuma bactéria coliforme , embora ainda existissem no envoltório de areia.

9. Geoquímica Ambiental

9.1. Situação do Problema

A exploração da planície aluvionar do rio Iguaçu e seus tributários para retirada de areia com fins comerciais, vem sendo efetuada há cerca de quarenta anos, conforme caracterizado anteriormente no texto.

A mineração predatória gera paisagens (geoformas artificiais) sujeitas intensamente aos processos de erosão superficial, facilitados pelo estado inconsolidado em que se encontra o material.

Os aspectos importantes para o estudo geoquímico destes processos são:

- alteração do ciclo biológico através do desmatamento, o qual na maioria das vezes é feito por derrubadas seguidas de queimadas;
- movimentação de grandes quantidades de solo orgânico através de escavações e reaterros para a mineração;
- criação de sistemas de drenagem artificiais (cavas) e modificação do regime do lençol freático;

■ migração de elementos químicos oriundos dos efluentes gerados pela lavagem das areias quando da exploração . A migração ocorre tanto quando as cavas estão interligadas umas com as outras, ou quando são conectadas ao rio.

Estes aspectos devem ser avaliados com relação à hidrogeoquímica da paisagem, com o intuito de quantificar os elementos existentes no ciclo natural de migração e também aqueles introduzidos pela ação antrópica.

9.2 Geoquímica das Paisagens

O ambiente resulta da interação da litosfera com a hidrosfera, a atmosfera e a biosfera durante os tempos geológico, pedológico e ecológico, de forma conjunta com os efeitos cumulativos das atividades antrópicas nos últimos séculos (Figura 19).

Tradicionalmente, o estudo da geoquímica foi desenvolvido com o objetivo de conhecer o comportamento natural dos elementos químicos, em uma determinada região, em função dos seus diferentes ecossistemas e do seu meio físico. Porém o desenvolvimento das atividades humanas trouxe como consequência a alteração do meio-ambiente, incluindo modificações químicas da atmosfera, da hidrosfera e a poluição dos solos.

Tal fato levou a uma mudança de mentalidade na geoquímica clássica motivando a elaboração de trabalhos relativos à detecção e controle de poluição e às

modificações decorridas no meio ambiente em consequência de interferências de caráter antrópico (MOREIRA E NORDEMANN,1987).

No entanto, muitos dos ecossistemas naturais que começam a ser estudados e conhecidos já estão completamente alterados como é o caso do sistema deposicional do rio Iguaçu e seus tributários .

Torna-se, então, extremamente difícil determinar com exatidão as condições naturais vigentes, ou seja, aquelas anteriores às modificações ocorridas, pois a falta de dados sobre um determinado ecossistema , antes da ocupação urbana-industrial, torna difícil o estabelecimento de um referencial adequado para análise, comparação e avaliação quali-quantitativa da região objeto de estudo.

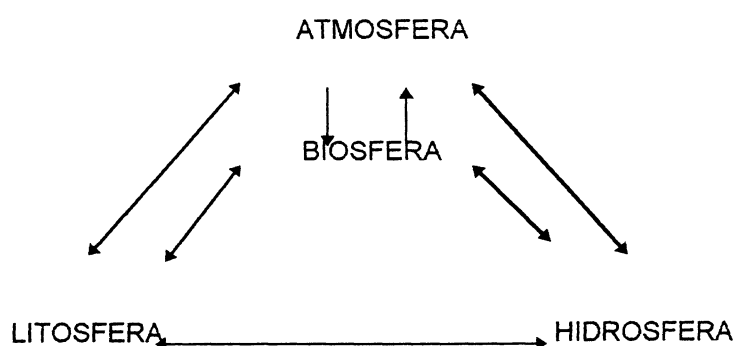


FIGURA 19
ASSOCIAÇÕES INTERATIVAS ENTRE OS DIFERENTES MEIOS DE UM ECOSISTEMA (FONTE: MOREIRA E NORDEMANN,1987)

Com base nestes conceitos surge uma nova abordagem através da Geoquímica de Paisagens, definida como o estudo do ambiente que ocorre próximo ou na própria zona de influência da luz solar (FORTESCUE,1980).

Segundo FORTESCUE (*op cit*), esta ciência é tratada como um enfoque conceitual e holístico para o estudo da geoquímica do ambiente, sendo considerada como tal , entre outras, por duas razões:

- envolve a circulação de todos os elementos químicos no ambiente e não apenas de certos grupos como os nutrientes ou elementos tóxicos;

- envolve a circulação de elementos em todos os tipos de ambientes (incluindo ecossistemas terrestres, aquáticos e pântanos) localizados dentro de uma determinada região.

Um dos modelos conceituais, definido inicialmente por FORTESCUE (1980), para a exploração mineral, é o prisma de paisagem. O prisma de paisagem é uma unidade de volume que está centrada na pedosfera e se estende para baixo, em direção ao subsolo, até o embasamento não alterado, e para cima, através da biosfera (ou hidrosfera, no caso de rios e lagos) até a atmosfera.

O conceito de prisma de paisagem é abstrato e geralmente é mostrado como tendo uma pequena extensão horizontal. É utilizado em Geoquímica Ambiental para indicar as relações morfológicas entre plantas e tipos de solo, feições geológicas e geoquímicas, representativas de pontos particulares da paisagem (prisma tático) ou mesmo informações comuns a maioria ou a todas das paisagem da região. (FORTESCUE, *op cit*).

A geoquímica das paisagens surgiu como resultado das idéias do pesquisador B.B.Polinov (1867-1952), tendo seu desenvolvimento ocorrido de forma paralela ao desenvolvimento da geoquímica tradicional na Rússia.

De acordo com Polinov (*in* FORTESCUE, *op cit*) existem três tipos elementares de paisagem que podem ocorrer juntos numa mesma área. São as *paisagens eluviais*, onde o nível d'água encontra-se sempre, ou quase sempre, abaixo da superfície de terreno; as *paisagens super-aquais* onde a superfície do terreno e o nível d'água são coincidentes e as *paisagens aquais* onde a matéria sólida está abaixo da camada de água, como em lagos e rios.

Na opinião de Polinov (*op cit*), a classificação geoquímica das paisagens relaciona diretamente as interações entre a litosfera, a hidrosfera e a superfície do terreno alcançada pela luz do dia , sendo que estas relações , juntamente com os efeitos da biosfera viva, governam a migração dos elementos na paisagem.

Na micro-bacia hidrográfica do Rio Pequeno foram elaborados "prismas estratégicos da região", abrangendo as áreas abaixo descritas, ressaltando-se no entanto, que do ponto de vista da geoquímica das paisagens eles são considerados como se fossem um incidente isolado no espaço e no tempo, pois não encontram uma correlação a nível regional. Evidencia-se, no entanto, sua importância na medida em que praticamente inexistem dados sobre a região.

Para a elaboração dos citados foram consideradas as áreas drenadas e não drenadas da região, identificando-se quatro prismas de paisagem , a saber: dois supra-aquais, um eluvial e um aqual.

9.1.1 ÁREAS DRENADAS

9.1.1.1 PAISAGEM ELUVIAL

Corresponde as partes mais altas da micro-bacia , onde não ocorreu extração de areia (Figura 20).

Neste local, a vegetação original é de Floresta Ombrófila Mista com Araucária. Os solos são do tipo LATOSSOLO VERMELHO ESCURO, CAMBISSOLOS, PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO E GLEY HÚMICO (Figura 21).

Os LATOSSOLOS VERMELHOS ESCUROS são solos bastante argilosos, muito profundos, acentuadamente drenados, de coloração avermelhada escura, com perfis A, B e C.

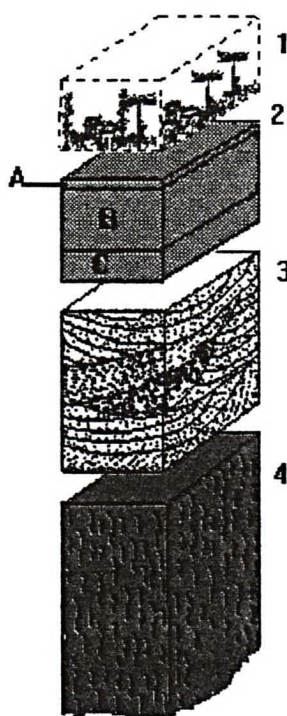


FIGURA 20

PRISMA DE PAISAGEM ELUVIAL ILUSTRATIVO

Legenda: (1) Floresta Ombrófila Mista com Araucária; (2) LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO com horizontes A, B e C; (3) Formação Guabirotuba; (4) Embasamento Cristalino

Os CAMBISSOLOS apresentam capacidade de retenção de água pequena à média, textura argilosa, são bem drenados e típicos de relevo ondulado.

Os PODZÓLICOS VERMELHO-AMARELO aparecem em áreas com relevo mais íngreme, possuindo maior permeabilidade.

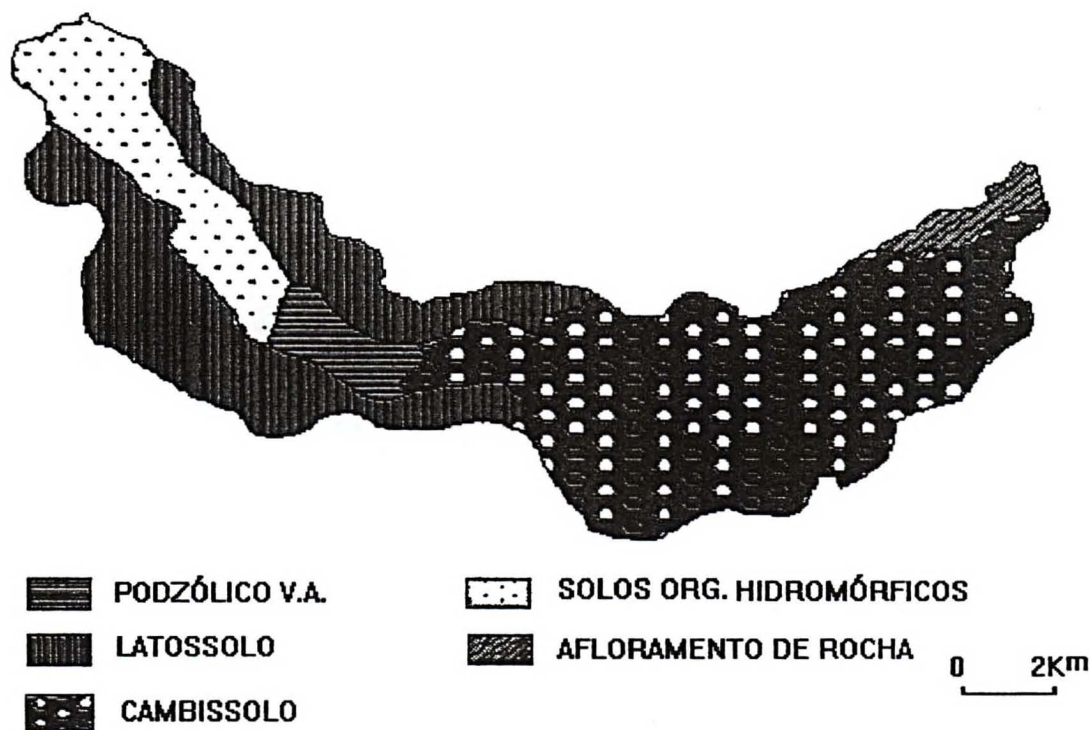


FIGURA 21
SOLOS DA BACIA DO RIO PEQUENO (FONTE:TONETTI,1993).

9.1.1.2 PAISAGEM SUPRA-AQUAL

Representa a área da planície aluvionar utilizada para agricultura e também para ocupações urbanas apesar das condições físicas do terreno.

A vegetação original era composta por gramíneas e mata ciliar que recobriam os depósitos aluvionares recentes do rio. Os solos são do tipo GLEY HÚMICO, de textura argilosa com grande influência do lençol freático à superfície ou próximo dela por todo o ano. São solos mal drenados promovendo o acúmulo superficial de

matéria orgânica, possuindo seu desenvolvimento a partir dos sedimentos aluviais (Figura 22).

O nível freático está localizado desde 0,50 m até 1,0 m de profundidade, podendo estar aflorante.

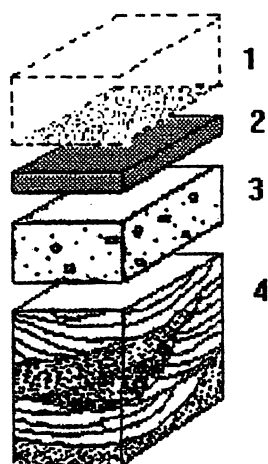


FIGURA 22
PRISMA ILUSTRATIVO DE PAISAGEM
SUPRA AQUAL

Legenda: (1) Vegetação tipo gramíneas ;
(2) Solo do tipo Gley Húmico com horizonte
A e C gleyzados; (3) Sedimentos aluviona-
res; (4) Formação Guabirotuba

9.1.2 ÁREAS NÃO DRENADAS

9.1.2.1 PAISAGEM SUPRA AQUAL

Nesta área, também da planície aluvionar, o terreno não sofreu alterações. A vegetação é composta por mata ciliar, quando existente, e os solos são do tipo SOLO ORGÂNICO no topo com camadas orgânicas e camadas siltico-argilosas na medida

em que ocorre o aprofundamento do perfil pedogenético. O nível hidrodinâmico é geralmente aflorante ou está localizado próximo à superfície (Figura 23).

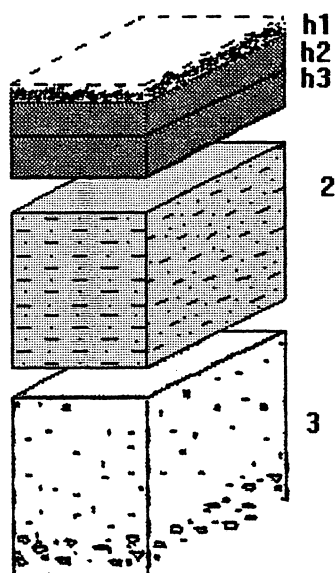


FIGURA 23
PRISMA DE PAISAGEM SUPRA AQUAL ILUSTRATIVO DAS ÁREAS NÃO DRENADAS

Legenda: (1) Solo orgânico com níveis h1-h2-h3;
(2) Camada siltico-argilosa; (3) Sedimentos aluvionares;

9.1.2.2. PAISAGEM AQUAL

Aqui, especificamente, foram retirados material de origem aluvionar pela mineração. Do ponto de vista pedogenético estes locais não são mais considerados "naturais" uma vez que ocorreram profundas alterações nos perfis de solo culminando com sua retirada total (Figura 24). O nível do lençol freático também sofreu alterações, causando consequências ainda não mensuráveis com relação ao comportamento da água subterrânea.

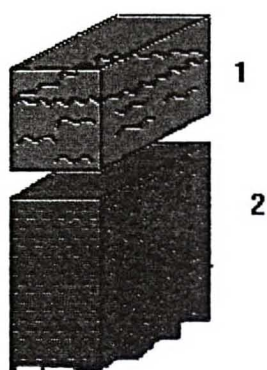


FIGURA 24
PRISMA ILUSTRATIVO DE PAISAGEM AQUAL
 Legenda: (1) superfície d'água; (2) manto de alteração do embasamento.

Esquemáticamente , as células elementares podem ser representadas no espaço como mostra a Figura 25.

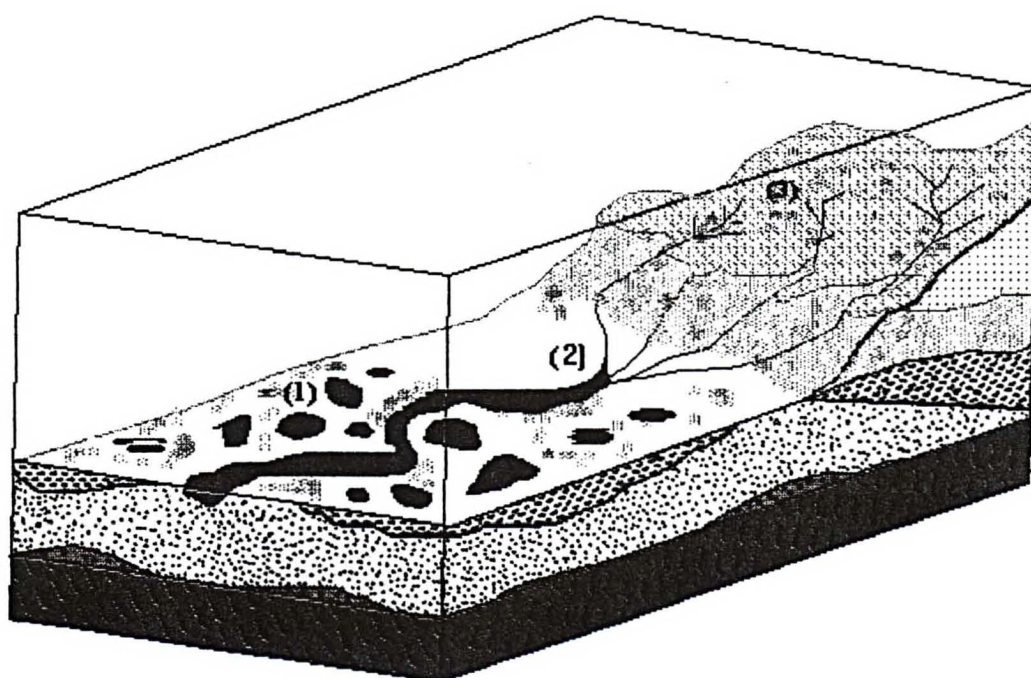


FIGURA 25
BLOCO DIAGRAMA ILUSTRATIVO DAS CÉLULAS ELEMENTARES DAS PAISAGENS
 Legenda: (1) Formação de lagos pela retirada de areia - paisagem aqual; (2) Região da planície sujeita a inundações onde o terreno não sofreu modificações - paisagem supra-aqual; (3) Áreas reflorestadas - paisagem eluvial.

9.3. Caracterização Geral dos Elementos nas Paisagens

A dinâmica da paisagem na região , de uma forma geral, é composta pelos seguintes componentes: a) atmosfera, cujo componente principal modificador é o clima, descrito no Capítulo 2; b) litosfera, que se constitui no suporte físico , também já descrito no Capítulo 5; c) biosfera, composta pela vegetação; d) pedosfera, pelos materiais de cobertura; e) hidrosfera , aqui constituída pelas águas das cavas, da drenagem superficial (rios Pequeno e Iguaçu) e pela água do aquífero aluvionar.

A hidrosfera será descrita num item à parte, uma vez que envolve o quimismo das águas e suas relações com outros elementos das paisagens.

9.3.1.VEGETAÇÃO

A vegetação original da Bacia do Rio Pequeno dificilmente poderá ser reconstituída, uma vez que a expansão demográfica vem acontecendo rapidamente na região.

Esta vegetação é em parte ocupada pelos campos edáficos, constituídos predominantemente por Gramíneas e Ciperáceas nas margens do rio e de seus afluentes, associados aos baixios e sujeitos à inundações periódicas. Junto às margens ocorrem as matas de galeria, enquanto que nas partes leste e nordeste

ocorrem reflorestamentos de Bracatinga, Gramíneas, Campos e Capões em diversos estágios de desenvolvimento (KLEIN E HATSCHBACH, 1992 *in* TONETTI, 1993).

Em algumas áreas recuperadas o reflorestamento foi feito com *Araucária angustifolia* (pinheiro do Paraná).

Foi registrada a ocorrência de um depósito de turfa com 31,19ha e espessura média de 0,65cm (OLIVEIRA, 1981), próximo à Estação de Captação da SANEPAR.

A área turfosa apresenta uma assembléia florística composta por *Sphagnum* sp (musgo), *Blechnum imperiale* (samambaia imperial) e *Tibouchina* sp (quaresmeira), entremeada de gramíneas e ciperáceas (OLIVEIRA, 1981).

O perfil típico foi descrito para o depósito de Piraquara , distante cerca de 10 km da região do depósito do rio Pequeno e, por isto mesmo , portador das mesmas características litológicas e pedogenéticas, além do mesmo tipo de uso e ocupação do solo (Figura 26).

Nesta assembléia particular, o musgo do gênero *Spagnum* forma um tapete esponjoso sobre o primeiro nível do depósito. O produto de decomposição deste , a uma profundidade de até 0,20m origina um material rico em fibras vegetais, o qual foi classificado como **turfa fibrosa**.

Dos 0,20 aos 0,50m, ocorre um material mais denso, quase negro, englobando fragmentos vegetais de coloração marrom, enquadrando-se nas características de uma **turfa hêmica**.

O nível inferior do depósito turfáceo ocorre dos 0,50 aos 0,80m , correspondendo à **turfa sáprica**. Possui uma crescente decomposição do material, não apresentando mais as fibras visíveis, mais denso e coloração negra, estando enriquecido em argilo-minerais,

Dos 0,80 até 1,0 m os argilo-minerais passam a predominar em relação à matéria orgânica , com uma fração arenosa fina dispersa, coloração negra , sendo classificado como uma **argila turfosa**. Após este nível ocorrem os sedimentos aluvionares.

As conclusões obtidas com o relatório de OLIVEIRA (1981) revelam que a vegetação atual da turfeira sofreu modificações recentes , causadas pelas drenagens e queimadas na região, tornando o solo mais seco e possibilitando uma maior diversificação das espécies vegetais.

A caracterização físico-química deste depósito revela que o pH dos diversos níveis de turfa encontra-se na faixa ácida , fato importante para considerações a respeito da solubilidade de alguns elementos como o ferro .

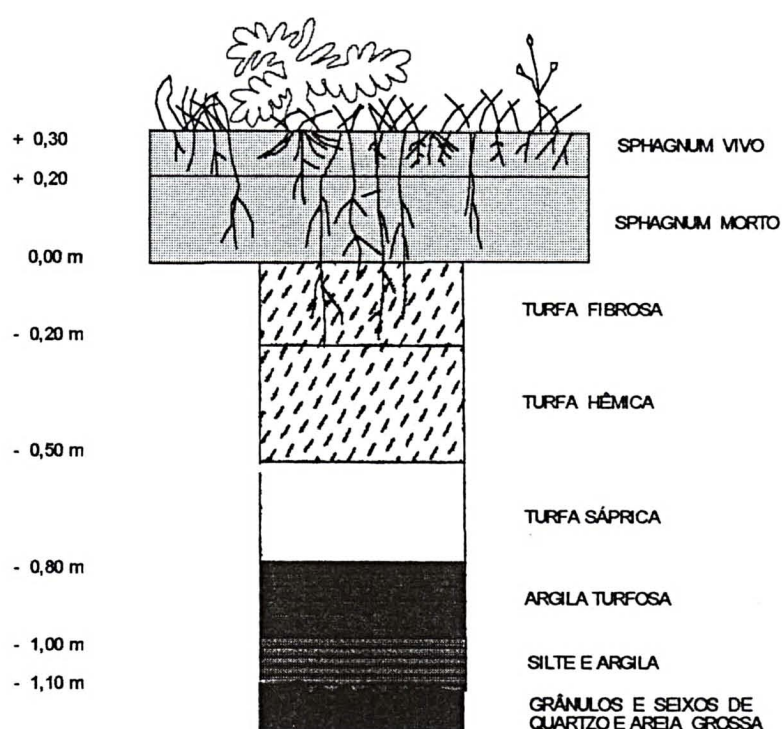


FIGURA 26
PERFIL TIPO DO DEPÓSITO DE TURFA (FONTE: OLIVEIRA, 1981).

9.3.2 MATERIAIS DE COBERTURA

Sob esta designação são referenciados os materiais terrosos e granulares que capeiam o substrato litológico, representados basicamente pelas unidades

Guabirotuba e Complexo Gnássico - Migmatítico e que, de um modo geral, apresentam-se em diferentes estágios de consolidação, sendo agrupados de acordo com a intensidade e estágio de atuação dos processos pedogenéticos (Tabela19).

Neste sentido, dois grupos básicos de solos foram concebidos sendo um deles representados pelas classes cujos processos pedogenéticos foram intensos e completos e outro onde os referidos processos são de incidência parcial, face à própria dinâmica envolvida na formação dos mesmos (por exemplo retrabalhamento recente por ação da gravidade ou pela ação fluvial).

TABELA 19
MATERIAIS TERROSOS E GRANULARES AGRUPADOS DE ACORDO COM A INTENSIDADE E ESTÁGIO DE ATUAÇÃO DOS PROCESSOS PEDOGENÉTICOS

| GRUPO 01-SOLOS COM INTENSA PEDOGÊNESE | GRUPO 02- SOLOS COM FRACA PEDOGÊNESE/PEDOGÊNESE PARCIAL | |
|---------------------------------------|---|----------|
| CLASSE | CLASSE | |
| LATOSSOLO VERMELHO ESCURO | Residuais | |
| CAMBISSOLOS | Transportados | Colúvios |
| PODZÓLICO VERMELHO AMARELO | | Tálus |
| GLEI HÚMICO | | Aluviões |
| SOLO ORGÂNICO | | |

Os principais tipos de solos do GRUPO 1 foram caracterizados na apresentação dos prismas de paisagens.

Na planície aluvionar, nas áreas constituídas pelos SOLOS ORGÂNICOS, ocorre a formação dos pequenos depósitos de turfa, conforme descrito no item anterior.

No que se refere aos solos do GRUPO 2, os de natureza residual distribuem-se regularmente pelas zonas de relevo mais plano, desenvolvendo espessuras de

até 3,0m, prevalecendo cor vermelha , apresentando caráter textural predominantemente argiloso.

Os materiais de cobertura que de modo direto ou indireto foram constituídos sob a influência de algum tipo de transporte, encontram-se em pelo menos dois ambientes distintos: nas encostas das elevações (colúvios e tálus) ou próximo as calhas dos canais fluviais (terraços aluvionares).

Nos dois primeiros é válida ainda uma separação segundo critérios topográficos e estruturais ou mesmo tectônicos, onde os depósitos do tipo tálus vinculam-se a zonas com relevo mais acidentado, associados a linhas de falhas e fraturas, enquanto que os colúvios associam-se a vertentes mais suaves, inclusive coalescendo com os aluviões no ambiente fluvial.

De um modo geral, os materiais de natureza coluvionar apresentam cor marrom até preta, de espessura centimétrica a métrica, abrigando fragmentos rochosos de dimensões predominantemente centimétrica ($<0,05$ m ou 5 cm) os quais encontram-se numa matriz argilosa dominante.

Os depósitos de tálus, tal como os colúvios, são de caráter argiloso, possuindo, porém, fragmentos rochosos de maiores dimensões e relativamente mais selecionados.

Os materiais de natureza aluvionar enquanto tratados simplesmente como cobertura das unidades litológicas poderiam ser descritos neste item, no entanto, como o enfoque do trabalho é muito mais voltado ao aluvião como fruto de um processo geológico - geomorfológico, o mesmo será tratado dentro dos capítulos específicos que abordam a temática.

Complementando as observações relativas aos solos residuais e coluvionares, é importante ressaltar que a separação no campo entre os mesmos se dá

através de uma camada guia bastante frequente , representado por um nível de seixos que desenvolve espessuras centimétricas , marcando então a passagem entre um e outro tipo de materiais de cobertura.(MINEROPAR,1994).

O perfil típico dos materiais de cobertura que fazem parte do conjunto da micro-bacia hidrográfica do Rio Pequeno é apresentado abaixo (MINEROPAR, *op cit.*):

1) colúvio marrom escuro a preto , argiloso, poroso, desenvolvendo espessuras centimétricas;

2) linha de seixos de natureza variada e espessura centimétrica;

3) solos residuais vermelhos , podendo ocorrer os seguintes tipos:

- mais evoluídos, quando apresentam poucos vestígios da rocha original;

- mais jovens, quando apresentam, as feições preservadas da rocha original;

- argiloso, sendo a caulinita (2:1) o argilo-mineral mais frequente e secundariamente a illita (2:1). Níveis de laterita com espessura centimétrica são igualmente frequentes;

- argila de cor cinza-esverdeada, siltosa, sendo a montmorillonita o argilo-mineral predominante, secundariamente a illita (2:1) e a caulinita (1:1).

9.4 HIDROSFERA

A dinâmica das águas em áreas que sofreram um intenso processo de alteração ambiental é pouco conhecida. Na realidade o que tentativamente foi elaborado é uma caracterização, de forma geral, desta componente da paisagem na tentativa de se qualificar os efeitos da mineração.

9.4.1 METODOLOGIA

As amostras de água foram coletadas com o objetivo de se visualizar os fluxos geoquímicos na região tanto qualitativa como quantitativamente . Os pontos foram selecionados com a preocupação de obter a melhor distribuição em área e também visando reduzir os custos (Figura 04).

Foram coletadas amostras de água oriundas dos poços executados na região (fluxo subterrâneo) e das cavas (fluxos superficiais). Os locais de amostragem seguiram a denominação adotada em campo (Tabela 20).

TABELA 20
TABELA DESCRITIVA DOS PONTOS AMOSTRADOS

| NOME DAS AMOSTRAS | CÓDIGO PARA REFERÊNCIA | DATA DA COLETA | TIPO DE LOCAL | CONDIÇÃO DAS ÁGUAS |
|-----------------------------|------------------------|----------------|--|---|
| Cava Antiga | 01 | 14/01/94 | Cava em meio a um reflorestamento de pinus | Clara |
| Cava Antiga do Areal Durico | 02 | 14/01/94 | Cava antiga , com água sem material remobilizado, adjacente a uma extração de areia | Claras |
| Cava Eutrofizada. | 03 | 14/01/94 | Cava com bastante vegetação do tipo aguapé | Turva, cheiro sulfuroso |
| Cava nova(Durico) | 04 | 14/01/94 | Cava que estava sendo utilizada pelo minerador. | Aspecto turvo e com muito material em suspensão |
| Lowensen | 05 | 14/01/94 | Nascente dentro de uma cava que estava com rebaixamento do lençol freático ao máximo. | Clara e tornando-se turva com o passar do tempo |
| Poço 3 | 06 | 26/04/94 | Piezômetro , após bombeamento de 4 horas | Clara , tornando-se turva com o passar do tempo |
| Piezômetro B | 07 | 12/08/94 | Piezômetro , após bombeamento de 4 horas, instalado num dique natural inter-cavas. | Clara , tornando-se turva com o passar do tempo |
| Cava 2 | 08 | 12/08/94 | Cava com extração de areia | Aspecto turvo e com muito material em suspensão |
| Cava 1 | 09 | 12/08/94 | Cava com extração de areia | Aspecto turvo e com muito material em suspensão |
| Campo Futebol | 10 | 28/11/98 | Piezômetro , após bombeamento de 4 horas, distante cerca de 50 metros de uma cava | Aspecto turvo e com muito material em suspensão |
| Chácara Fonseca | 11 | 28/11/94 | Piezômetro , após bombeamento de 4 horas, situado em meio de um reflorestamento de pinus | Clara |
| Piezômetro C (Igrejinha) | 12 | 29/11/94 | Piezômetro , após bombeamento de 4 horas, distante 5 metros de uma cava bastante eutrofizada | Aspecto claro a turvo, com odor |
| Poço Prod.1a col. | 13 | 16/12/94 | Poço Tubular, com 08 horas de bombeamento | Aspecto claro a turvo, com odor |
| Poço Prod.2a col. | 14 | 17/12/94 | Poço Tubular, com 16 horas de bombeamento | Aspecto claro a turvo, com odor |
| Poço Prod.3a col. | 15 | 17/12/94 | Poço Tubular, com 24 horas de bombeamento | Aspecto claro a turvo, com odor |

As análises das águas foram obtidas a partir de amostras coletadas em frascos de polietileno de 1 litro (um litro). Para cada ponto de amostragem, um frasco foi acidificado com HCL para análise dos cátions e outro , também relativo ao

mesmo ponto, foi mantido *in natura* para determinação dos ânions. Procedida a coleta com a medição no local do pH e temperatura, as amostras foram encaminhadas aos laboratórios para as análises correspondentes. O pH foi determinado através de um potenciômetro portátil Micronal.

9.4.2. AVALIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DAS ANÁLISES

De posse dos resultados obtidos das análises foram procedidos os balanços iônicos a partir da seguinte fórmula (CUSTÓDIO E LLAMAS, 1976):

$$E = \frac{\sum cá tions - \sum ânions}{\sum ânions + \sum cá tions} \times 100\%$$

E = diferença percentual no balanço iônico

$\sum cations$ = somatório dos equivalentes dos cátions

$\sum anions$ = somatório dos equivalentes dos ânions

9.4.3. DETERMINAÇÃO DA ESPECIAÇÃO QUÍMICA

Em três amostras de água (nos pontos 10, 11 e 12) foi feita a determinação da atividade iônica para o procedimento de cálculos envolvendo equilíbrios com minerais.

A Força Iônica, expressando o conteúdo iônico de uma solução, é definido por:

$$I = \frac{1}{2} \sum_i m_i \times z_i^2$$

onde

z_i = valência iônica

m_i = concentração molar

Os coeficientes de atividade foram calculados através da equação de DEBYE E HUECKEL EXTENDIDA (FRITZ, 1981):

$$\log \gamma = - \frac{A \times z_i^2 \sqrt{I}}{1 + a_i^0 \times B \sqrt{I}} + CI$$

onde A, B , e C são constantes relativas ao solvente (água) e a_i^0 constante particular do íon.

Foram considerados nos cálculos os valores das constantes A e B (HELGESON E KIRKHAM, 1974), da constante C (HELGESON *et al* 1971, *apud* FRITZ, 1981) a 25° C, apresentados a seguir, na Tabela 21:

TABELA 21
VALORES DAS CONSTANTES A, B, C E a_i^0

| A | B | C |
|---|-------------------------|-------------------------------|
| 0,5092 | $0,3283 \times 10^{-8}$ | 0,041 |
| $a_{Na^+, SO_4^{2-}} = 4 \times 10^8$ | | $a_{Mg^{+2}} = 8 \times 10^8$ |
| $a_{Ca^{+2}} = 6 \times 10^8$ | | $a_{HCO_3} = 4,5 \times 10^8$ |
| $a_{K^+, Cl^-, NO_3^-, NO_2^-} = 3 \times 10^8$ | | |

De posse das atividades foi possível calcular a saturação em relação a um ou mais minerais, através dos diagramas apresentados no próximo item.

9.4.4 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS

A Tabela 22 mostra os valores dos parâmetros que foram obtidos através das análises químicas e também o resultado do cálculo do balanço iônico. Os resultados mostraram uma dominância do íon HCO_3^- e de Na^+ aparecendo, também, algumas amostras com elevados teores de sulfato e de cloro.

Os teores de cloro encontrado nas águas *in natura* são sempre baixos, exceto nas regiões onde existem sedimentos de origem marinha. Portanto, os altos teores encontrados nos levam a inferir algum tipo de resíduo urbano (como detergentes e esgotos) que estivesse em contato direto com as águas analisadas.

O íon sulfato é caracterizado pelo seu odor de ovo *podre* que circula, por assim dizer, de uma forma geral na região das cavas. Os altos teores encontrados relacionam-se, de acordo com o perfil ambiental da região, à influência dos processos microbiológicos que ocorrem de forma intensa no solo e também pelas atividades urbanas ali instaladas.

Os valores do íon nitrato apesar de não excederem umas poucas mg/l, são indicativos do processo de contaminação de origem orgânica que existe na área. A amostra de número 8 (ver descrição na Tabela 22) apresentou um valor de 12,66mg/l revelando um foco de contaminação originado pelo despejo dos esgotos de conjuntos habitacionais que foram conectados, clandestinamente, a esta cava em particular, conforme visto no campo.

TABELA 22
PARÂMETROS OBTIDOS ATRAVÉS DAS ANÁLISES QUÍMICAS

| Código das Amostras | Na ⁺ mg/l | K ⁺ mg/l | Ca ⁺² mg/l | Mg ⁺² mg/l | HCO ₃ ⁻ mg/l | SO ₄ ⁻ mg/l | Cl ⁻ mg/l | NO ₃ ⁻ mg/l | SiO ₂ mg/l | STD mg/l | Bal. % | pH | S.T. mg/l | Turb. uTN | Cor uH |
|------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------|-----------|-----|--------------|--------------|-----------|
| 01CA | 3,98 | 1,65 | 1,10 | 1,00 | 8,78 | 2,60 | 3,90 | 0,89 | | 23,89 | 4,48 | 6,9 | 62 | 16 | 65 |
| 02CA | 3,26 | 1,57 | 7,78 | 3,90 | 53,65 | 1,90 | 1,90 | 0,80 | | 74,75 | -5,02 | 7,7 | 92 | 5 | 35 |
| 03CE | 7,78 | 3,77 | 3,47 | 1,57 | 17,80 | 3,40 | 10,30 | 0,93 | | 49,02 | 4,95 | 6,4 | 202 | 36 | 200 |
| 04CN | 3,21 | 2,07 | 4,35 | 2,82 | 26,00 | 7,60 | 2,50 | 1,33 | | 49,88 | -2,62 | 7,4 | 266 | 148 | 325 |
| 05AL | 2,51 | 1,05 | 1,88 | 0,71 | 4,40 | 5,60 | 3,30 | 1,73 | | 21,30 | -2,54 | 5,9 | 160 | 87 | 275 |
| 06P3 | 5,50 | 1,10 | 13,10 | 7,00 | 56,82 | 2,40 | 2,40 | 0,89 | | 89,20 | 16,94 | 6,2 | 82 | 16 | 90 |
| 07PZB | 11,00 | 4,40 | 9,40 | 1,00 | 48,00 | 2,50 | 8,80 | 0,04 | | 85,14 | 2,47 | 6,8 | 434 | 46 | >1 |
| 08C2 | 10,40 | 5,00 | 9,00 | 0,50 | 33,30 | 2,50 | 7,80 | 12,66 | | 81,16 | 2,33 | 6,3 | 710 | 20 | >1000 |
| 09C1 | 9,50 | 4,60 | 7,40 | 0,40 | 34,20 | 2,80 | 7,80 | 3,10 | | 69,80 | 2,44 | 5,7 | 858 | 15 | >1000 |
| 10PZCF | 9,50 | 0,90 | 2,40 | 2,80 | 24,32 | 9,60 | 5,90 | 0,62 | 20,2 | 76,24 | 0,75 | 5,7 | 348 | 70 | 275 |
| 11PZCF | 5,50 | 0,80 | 11,20 | 2,50 | 3,05 | 9,60 | 3,30 | 0,53 | 13,6 | 99,46 | -6,24 | 6,2 | 114 | 16 | 90 |
| 12PZC | 16,00 | 1,20 | 5,90 | 2,10 | 46,70 | 9,60 | 5,90 | 0,40 | 11,6 | 99,40 | 2,4 | 5,6 | 138 | 17 | 110 |
| 13PP1a | 13,90 | 0,46 | 5,00 | 0,39 | 35,40 | 7,80 | 3,40 | 0,93 | | 67,28 | 2,55 | 5,9 | 127 | 59 | 275 |
| 14PP2a | 9,70 | 0,50 | 5,00 | 0,39 | 27,60 | 6,40 | 3,40 | 0,05 | | 53,04 | 2,44 | 6 | 135 | 60 | 125 |
| 15PP3a | 11,60 | 0,47 | 5,00 | 0,39 | 30,20 | 7,60 | 3,80 | 0,05 | | 59,11 | 2,38 | 5,9 | 127 | 59 | 275 |

9.4.4.1 CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA ATRAVÉS DO DIAGRAMA DE PIPER

Para a classificação hidroquímica de águas foi utilizado o diagrama de Piper ou diagrama triangular. Cada um dos vértices de um triângulo equilátero representa um dos componentes puros sendo que em cada lado são plotados, separadamente, os valores percentuais em equivalentes relativos ao total de cátions e ânions. Os ânions mais comumente representados e também utilizados neste trabalho são HCO_3^- , SO_4^{2-} , $\text{Cl}^- + (\text{NO}_3^-)$ e como cátions $\text{Na}^+ + (\text{K}^+)$, Ca^{++} , Mg^{++} .

A classificação das águas amostradas encontra-se discriminada na Tabela 23, não havendo sido detectado que as águas do aquífero freático houvessem apresentado qualquer diferenciação significativa em correspondência às águas superficiais das cavas, fato que mostra a intrínseca relação entre as mesmas.

No diagrama de Piper pode-se apreciar que a composição predominante são de águas Bicarbonatadas Sódicas apesar de ocorrer uma certa dispersão dos pontos (Figura 27).

TABELA 23
CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS COM BASE NO DIAGRAMA DE PIPER

| CLASSIFICAÇÃO POR AMOSTRA | |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 01- Cloretada-bicarbonatada sódica | 08 Bicarbonatada-sódica |
| 02 Bicarbonatada sódica | 09 Bicarbonatada-sódica |
| 03 Cloretada-sódica | 10 Bicarbonatada-sódica |
| 04 Bicarbonatada-magnesiana | 11-Bicarbonatada-magnesiana |
| 05 Cloretada-sódica | 12 Bicarbonatada-sódica |
| 06 Bicarbonatada-sódica | 13 Bicarbonatada-sódica |
| 07 Bicarbonatada-sódica | 14-Bicarbonatada-sódica |
| | 15 Bicarbonatada-sódica |

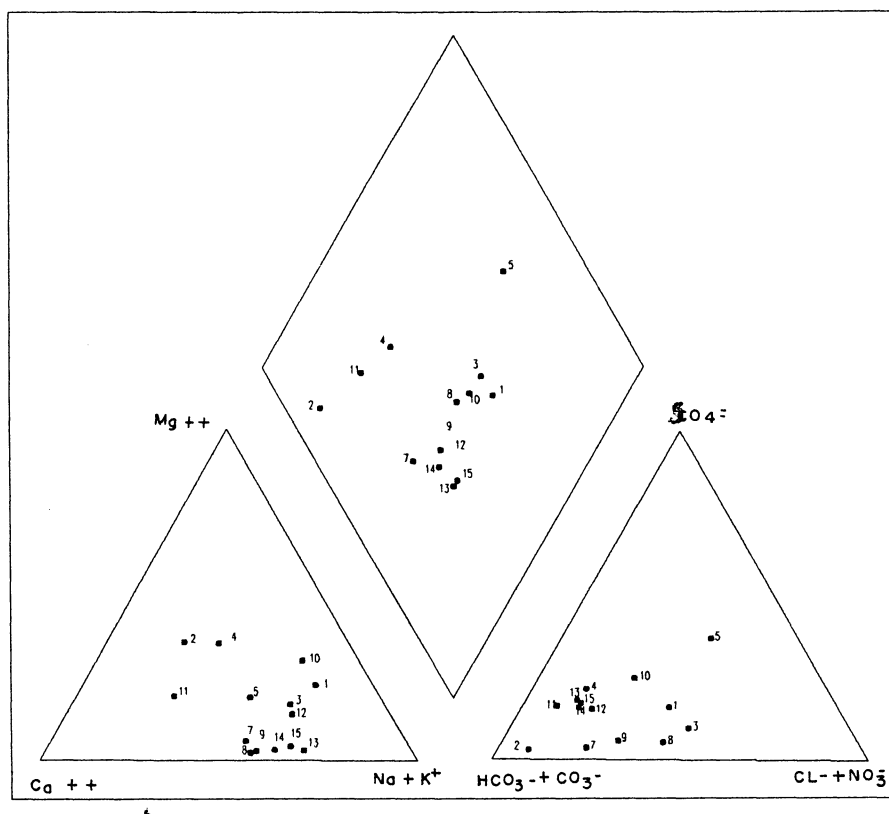


FIGURA 27
DIAGRAMA DE PIPER REPRESENTANDO OS DIFERENTES TIPOS DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA

9.4.4.2 ESTABILIDADE DOS ALUMINOSSILICATOS

Estes diagramas são utilizados para analisar a estabilidade dos minerais em solução com relação ao potencial hidrogeniônico e a concentração de ácido silícico. Os campos são construídos através de equações termodinâmicas de dissolução dos minerais em água. Os principais parâmetros controladores dos sistemas representados são os teores de Na^+ , K^+ e Ca^{++} em função de SiO_2 e do pH da solução sob uma temperatura de 25°C e pressão de uma atmosfera.

Em todos os diagramas elaborados, relativamente à água do aluvião, as amostras encontram-se no campo de estabilidade da caolinita, mineral comum nos perfis de solo da região (Figuras 29,30, 31).

9.4.4.3 ESTABILIDADE DA GIPSITA

O diagrama de saturação para a gipsita (Figura 28) revelou que todas as amostras encontram-se insaturadas em relação ao referido mineral o que condiz com a paisagem geoquímica da região.

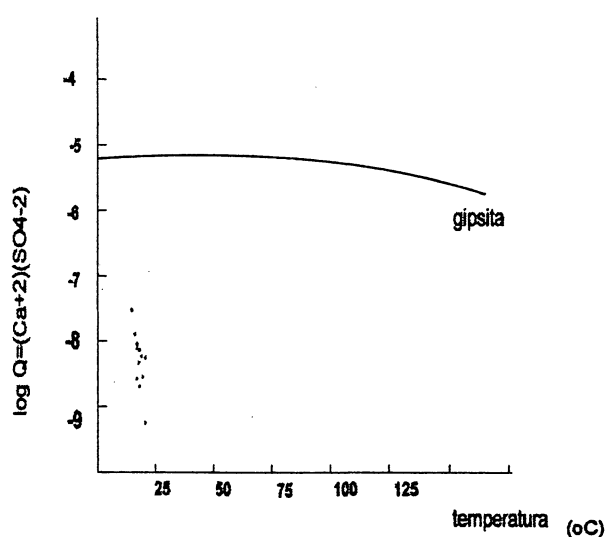


FIGURA 28
CAMPO DE ESTABILIDADE DA GIPSITA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E DO
PRODUTO DA ATIVIDADE (FONTE: HELGESON,1974)

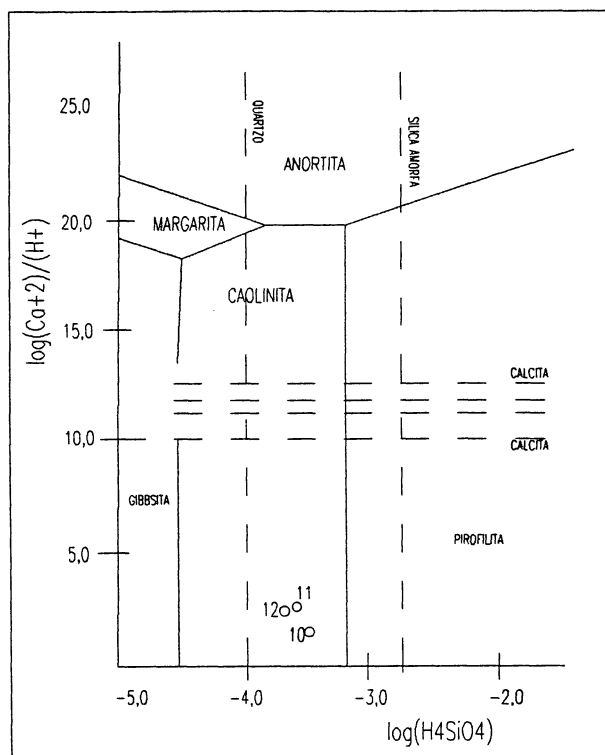


FIGURA 29
DIAGRAMA DE KORZINSKI PARA OS DOMÍNIOS DE ESTABILIDADE DOS MINERAIS
DE Ca a 25°C (FONTE: FRITZ,1981)

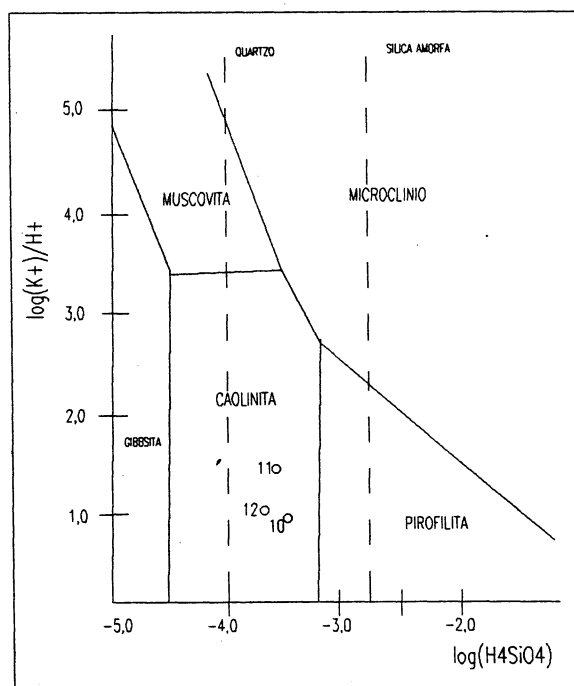


FIGURA 30
DIAGRAMA DE KHORZINSKI PARA OS DOMÍNIOS DE ESTABILIDADE DOS
MINERAIS DE K a 25°C (FONTE: FRITZ,1981)

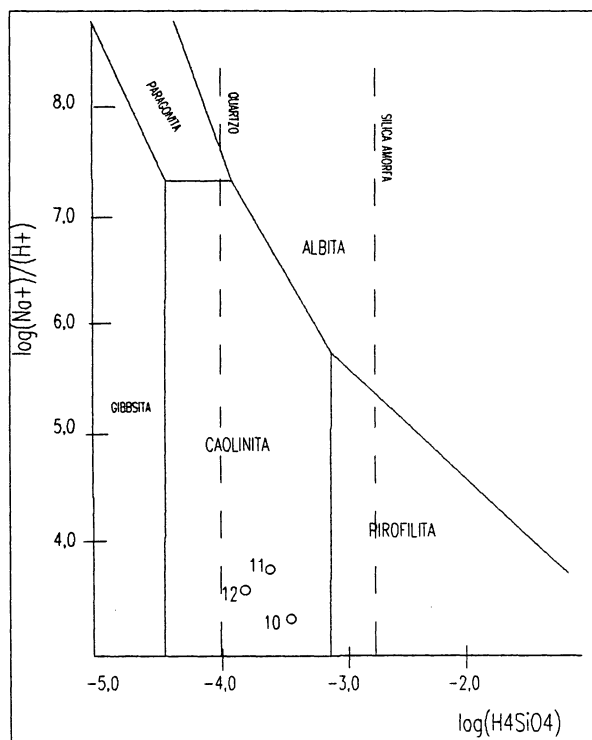


FIGURA 31
DIAGRAMA DE KHORZINSKI PARA OS DOMÍNIOS DE ESTABILIDADE DOS
MINERAIS DE Na a 25°C (FONTE: FRITZ,1981)

9.4.4.4 ESTABILIDADE DA SÍLICA

As concentrações obtidas através das análises para a sílica indica saturação em relação ao quartzo para uma temperatura média de 20 °. De acordo com HEM (1970), as concentrações da sílica estão normalmente entre 10 e 60 ppm de SiO_2 , caracterizando um limite inferior compatível com a solubilidade do quartzo (Figura 32).

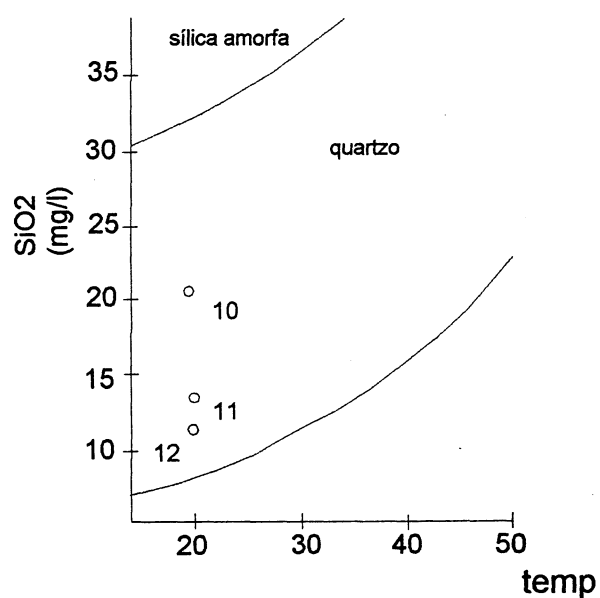


FIGURA 32
DIAGRAMA DA ESTABILIDADE DA SÍLICA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E
CONCENTRAÇÃO (FONTE:HELGESON,1974)

9.4.5. ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

A título de comparação são apresentados aqui os dados de qualidade da água de locais próximos a área do projeto, onde também ocorreu o mesmo

processo de extração de areia com a diferença de que, atualmente estas áreas foram transformadas em um parque público.

Os dados apresentados a seguir são referidos às cavas interligadas do Parque Iguaçu e da Raia Olímpica, próximo a São José dos Pinhais, Região Metropolitana de Curitiba.

Através destes dados, tentativamente foi calculado um Índice de Qualidade de acordo com a metodologia descrita em SUREHMA (1987), acrescida de informações verbais do Eng. Norberto Ramon, do Instituto Ambiental do Paraná.

Em função de não existirem informações sobre todos os parâmetros necessários para o cálculo deste índice, procurou-se adequar os pesos atribuídos com aqueles existentes, para que se pudesse obter, ao menos, valores aproximados da qualidade destas águas.

Cabe salientar que este índice indica apenas uma determinada época, pois os valores monitorados são sazonais apresentando flutuações diárias e representam também a ocupação e uso da bacia. Portanto, para se obter dados com significação histórica devem ser elaborados períodos maiores de observação.

Para as cavas interligadas, os resultados destes índice foram próximos para os períodos de junho e outubro de 1992, obtendo-se índices de 56,66 e 62,91, respectivamente.

Para a cava da Raia Olímpica, neste mesmo período, os valores encontrados foram de 70,46 e 68,04.

Estes dados, mesmo sem a presença do parâmetro coliforme fecal, o qual certamente poderia reduzir estes os valores de forma significativa, tornam-se

TABELA 24
VALORES DOS ÍNDICES PARA A ÁREA DO PARQUE IGUAÇU-RAIA OLÍMPICA (LAGO 07)

| Data | Temp (°C) | % Saturação Oxigênio | Cond. (μ S/ca) | pH | P Total (μ g/l) | N.T.K. (mg/l) | Nitrato (mg/l) | Nitrito (mg/l) | DB 05 (O ₂ mg/l) | Turbidez (NTU) |
|--------|-----------|----------------------|---------------------|------|----------------------|---------------|----------------|----------------|-----------------------------|----------------|
| Nov/91 | 21,7 | 68 | 143 | 6,84 | 203 | 1,24 | 2,02 | ----- | 3 | 45 |
| Fev/92 | 26,6 | 78 | 155 | 7,50 | 249 | 0,97 | 0,33 | ----- | 3 | 36 |
| Jun/92 | 19,2 | 87 | 148 | 6,66 | 191 | 0,97 | 2,21 | 0,015 | 5 | 53 |
| Out/92 | 19,8 | 87 | 133 | 7,53 | 218 | 0,66 | 2,00 | 0,011 | 7 | 98 |

TABELA 25
VALORES DOS ÍNDICES PARA A ÁREA DO PARQUE IGUAÇU-CAVAS INTERLIGADAS (LAGO 02)

| Data | Temp (°C) | % Saturação Oxigênio | Cond. (μ S/ca) | pH | P Total (μ g/l) | N.T.K. (mg/l) | Nitrato (mg/l) | Nitrito (mg/l) | DB 05 (O ₂ mg/l) | Turbidez (NTU) |
|--------|-----------|----------------------|---------------------|------|----------------------|---------------|----------------|----------------|-----------------------------|----------------|
| Nov/91 | 20,7 | 47 | 205 | 7,05 | 526 | 6,39 | 3,20 | ----- | .9 | 19 |
| Fev/92 | 25,5. | 173 | 162 | 9,40 | 580 | 6,18 | 0,60 | ----- | 5 | 50 |
| Jun/92 | 20,6 | 52 | 165 | 6,67 | 165 | 8,86 | 4,25 | 0,150 | 4 | 27 |
| Out/92 | 20,7 | 109 | 132 | 7,90 | 809 | 4,34 | 0,30 | 0,058 | 9 | 15 |

relevantes pois demonstram que a qualidade destas águas, apesar da interferência humana e sem nenhuma medida de preservação, pode ser considerada como boa e, portanto, passível de ser utilizada para consumos diversos, após tratamento prévio.

9.5. Fluxos Geoquímicos

KOZLOVSKIY (1972 (*in* FORTESCUE, 1980) descreve três padrões de fluxos que podem ocorrer relacionados aos elementos nas paisagens.

O primeiro tipo é similar ao que ocorre durante o ciclo biogeoquímico. Durante tais fluxos o movimento da matéria é predominantemente vertical do solo para as plantas e animais e vice-versa. Este tipo de fluxo que envolve nutrientes e substâncias químicas é chamado de Ciclo Principal de Migração (*Main Migration Cycle -MMC*).

O segundo tipo é o Fluxo Geoquímico da Paisagem (*Landscape Geochemical Flow-LGF*), o qual envolve um movimento progressivo de substâncias paralelas à superfície terrestre. O *LGF* do ar e da água dentro de um prisma da paisagem pode fluir em diferentes direções em resposta as mudanças sazonais ou diurnas em condições locais de tempo.

O terceiro tipo é o Fluxo Extra Paisagem (*Extra Landscape Flow-ELF*) o qual pode ser positivo ou negativo. Se for positivo, o *ELF* envolve a adição de elementos ou substâncias geralmente via água subterrânea ou atmosfera. Um *ELF* negativo

envolve a remoção de elementos, via gravidade ou atmosfera, das águas subterrâneas e águas superficiais.

Estimativas para remoção de material das paisagens pela erosão são exemplos de *ELF* negativo relacionado ao tempo pedológico ou geológico.

A vantagem de se combinar os conceitos de fluxos geoquímicos, KOZLOVSKY (1972 *in* FORSTESCUE, 1980) e prisma da paisagem é que é possível visualizar a proporção dos elementos através de um ponto no espaço, localizado na paisagem, num dado instante.

Nas partes baixas da bacia do rio Pequeno e do plano aluvial do rio Iguaçu as principais vias de entrada de elementos na paisagem (*ELF* positivo) estão relacionadas aos seguintes aspectos:

- chuva
- mineração - poeira, óleos, graxas, efluentes hídricos.
- ocupação humana - lançamento de lixo e dejetos orgânicos, entulhando as cavas e assoreando as drenagens superficiais.
- agricultura - uso de agrotóxicos tanto nas partes da planície do rio Pequeno, como também nas partes mais elevadas à montante.

Como exemplos de saídas apontam-se a areia, que foi removida pela mineração e a retirada da água das cavas, para lançamento em outras áreas adjacentes ou mesmo para o rio, causando possíveis alterações na temperatura das águas subterrâneas.

ELF positivo ocorre nas enchentes, quando do transbordamento do rio Iguaçu por sobre a planície aluvionar, envolvendo a adição de matéria contaminante orgânica e inorgânica presentes nas águas.

O fluxo geoquímico da paisagem (*LGF*) pode ser caracterizado pelo

movimento oscilatório do nível piezométrico , o qual apresenta variações de pequeno porte, pela ocorrência de tráfego intenso na região (devido ao comportamento elástico do meio poroso), ao efeito de dragagem nas cavas de maior porte e a ação climática . Essas oscilações causam variações de pequeno a médio porte na estrutura migracional das substâncias , paralelamente à superfície topográfica e também no próprio comportamento do fluxo de água subterrânea, o qual passa de uma circulação interna dentro de um meio poroso para uma exposição superficial ficando sujeito às alterações sem a ação de pré-filtragem dos níveis mais superficiais.

Esta caracterização dos tipos de fluxos na região é algo bastante variável, pois a paisagem se modifica muito rapidamente em função da ocupação suburbana itinerante e também pelo processo típico de mineração.

A separação destes diferentes tipos de fluxos passa a ser somente teórica, ocorrendo, na verdade, dentro do sistema Bacia Hidrográfica, um Ciclo Geral de Migração de Substâncias, tal qual o Ciclo Hidrológico da Água.

Os elementos químicos naturais são injetados na bacia hidrográfica pelas águas pluviais, recarregando diretamente o aquífero aluvionar. Uma parte da água evapora enquanto que a outra percola, levando consigo os elementos em solução, passando a alimentar os rios e lagos. Neste trajeto, a água recebe também contribuição de elementos trazidos pela erosão superficial, a qual é incrementada pelas operações desenvolvidas no extrativismo das areias, desestruturando os horizontes mais superficiais. Outra parte também é absorvida pela vegetação, fauna e microorganismos , com os elementos sendo absorvidos e reciclados pelos mesmos.

A água , ao penetrar no solo, é enriquecida pela matéria orgânica e mineral

das rochas, percolando os diferentes níveis de alteração, efetuando trocas e atacando minerais primários e/ou neoformados. Os aquíferos são reciclados em termos de elementos neles dissolvidos, influenciando o comportamento do rio, pois este é o exutório natural dessas águas

Os elementos poderão atingir o oceano através dos rios, permanecendo um tempo de residência para depois poderem ser injetados novamente na atmosfera e precipitados na bacia pela chuvas, recomeçando o ciclo.

É neste contexto que a água subterrânea freática adquire sua configuração química quase definitiva, existindo uma injeção de elementos pela ação antrópica. Estando o solo e a vegetação removidos, é perdida a função de filtro destes níveis, alterando-se este ciclo natural. A água da chuva que se infiltra alcança o nível freático de forma muito rápida, principalmente nestas áreas.

As principais reações que são desencadeadas são as de oxidação da matéria orgânica às expensas do oxigênio dissolvido. Nesta reação se produz anidrido carbônico que se soma ao já dissolvido antes de começar a recarga através da infiltração. Se todo o oxigênio foi consumido pode-se então criar um meio redutor às expensas da matéria orgânica residual e solubilizar-se o ferro.

9.6. BARREIRAS GEOQUÍMICAS

PERELMAN, (1967 *apud* FORTESCUE 1980), conceitua as Barreiras Geoquímicas como limites litológicos na zona superficial, onde as condições de

migração mudam drasticamente e a concentração de elementos químicos sofre um incremento.

Este conceito explica os teores de ferro elevados, detectados não somente através de algumas análises mas também na forma de pequenas concentrações visíveis nos níveis areno-argilosos após a remoção das camadas mais superficiais . As águas amostradas por bombeamento também se mostraram naturalmente coloridas, quando retiradas do poço, passando a marrom após algumas horas.

O comportamento do ferro pode ser considerado bastante simples, ou seja este elemento permanece em solução em ambientes redutores , com baixo pH, num equilíbrio bastante sensível . Na medida em que estas condições mudam , ocorre uma precipitação do elemento sob a forma de hidróxido férrico.

No aluvião, a formação de caulinita nos solos residuais e a presença de camadas de solos negros, ricos em matéria orgânica, com espessura média de 1,0 m, indicam a presença de soluções ácidas , num ambiente redutor.

A existência de depósitos de turfa já indicam estas condições ,ou seja, produtos de decomposição parcial de plantas que se desenvolveram em corpos d'água ou em ambientes por ela saturados, em condições de excessiva umidade e de baixo pH, os quais são responsáveis pela inibição do processo de oxidação rápida dos constituintes orgânicos , resultando na limitação de ar e na escassez de certos nutrientes imprescindíveis ao desenvolvimento da vida microorgânica.

Neste ambiente, as barreiras geoquímicas são, então, favorecidas pela oxidação nas áreas da planície, elevando o Eh , quando a camada superficial de solo é removida causando uma aeração do terreno.

De acordo com STUM E MORGAN (1981), altas concentrações de matéria orgânica estão frequentemente associadas com altas concentrações de ferro ⁺³ . A

maioria da chamada cor das águas verificada pode ser atribuída a dispersões coloidais altamente estabilizadas onde o amarelo intenso manchado é causado parcialmente pela complexa formação com o íon férrico.

De acordo com HEM (1970), pode-se perceber que para um pH igual a 5 , sob condições de moderada oxidação, mantendo-se os valores de Eh abaixo de 0,20 e acima de 0,10 volts, pode existir uma considerável concentração de ferro +2, em equilíbrio,. ou seja, a solubilidade do ferro é bastante baixa.

Torna-se evidente, então que pequenas variações no Eh ou pH podem causar grandes mudanças na solubilidade deste elemento.

Face ao supra referido, observa-se que , no caso do aproveitamento para abastecimento público destas águas, pode ser necessário um processo para eliminação do excesso de ferro.

10.0 RECUPERAÇÃO E MANEJO DA PLANÍCIE ALUVIONAR DO RIO PEQUENO

Os aquíferos podem ter diversas funções no planejamento de uma bacia hidrográfica de acordo com as suas características e as da bacia, as quais estão relacionados.

Na busca de soluções para o estado altamente degradado em que se encontra o aquífero aluvionar, há que se ter uma visão sistêmica das várias maneiras de como se pode aproveitar este recurso.

Apesar dos imensos "buracos" deixados pela mineração extrativista serem, hoje, um retrato vivo da ocupação irracional do meio ambiente tal quadro pode ser revertido. Estas escavações apenas expuseram os "bolsões de água contida nos aluviões" o que significa um volume de água passível de tratamento e uso. As cavas funcionam, portanto, como um reservatório natural de água, além de atenuantes dos picos de enchentes do rio Iguaçu. Os diques inter-cavas, ou seja as porções arenosas restantes do aquífero, em função de suas características físicas (granulometria, porosidade e permeabilidade) podem servir para melhoria da qualidade desta água.

10.1 CONCEPÇÃO GERAL

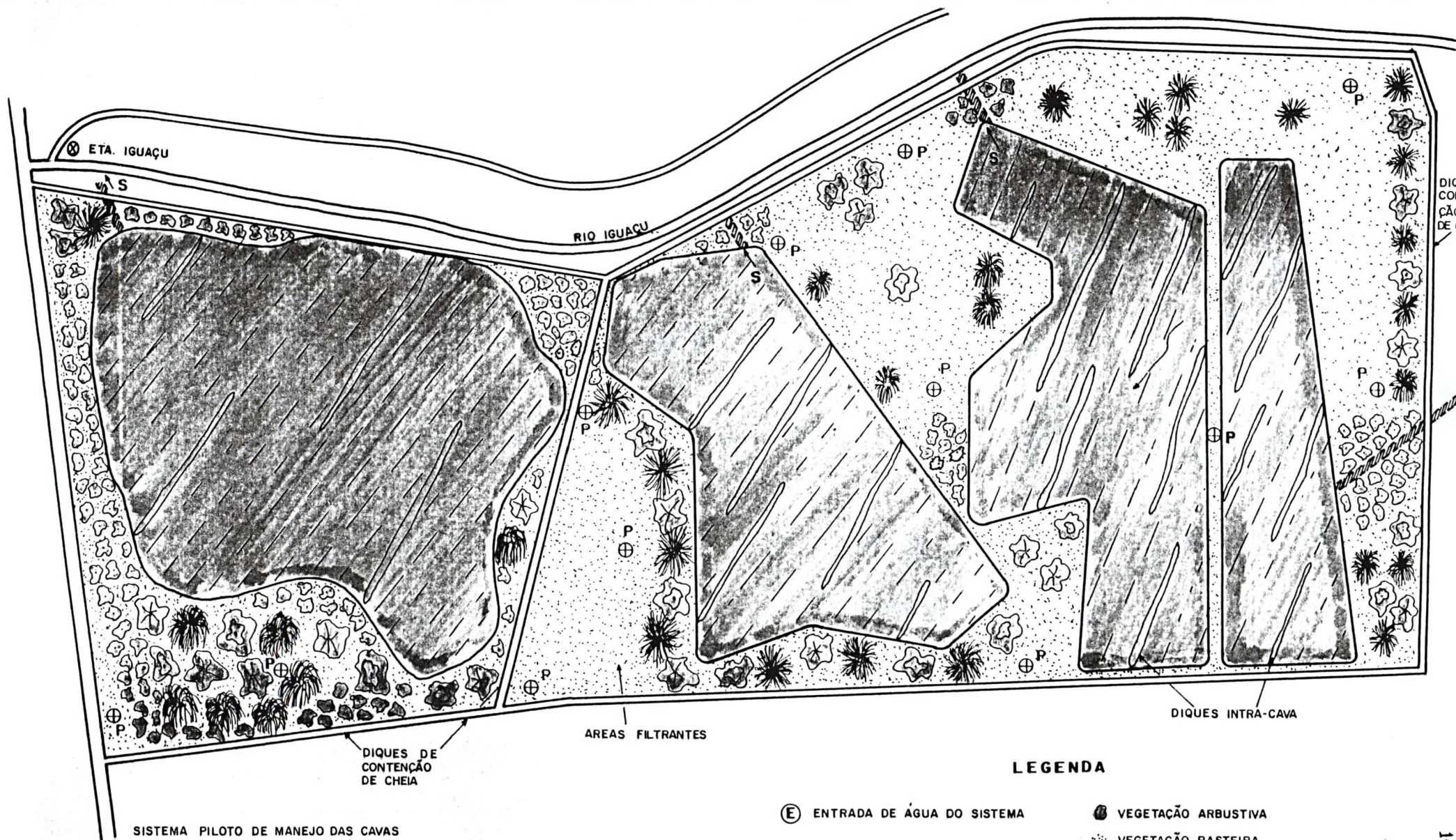
A nível de estudos básicos , selecionou-se a área apresentada na figura 03, a qual aponta a situação atual de um conjunto de cavas com dimensões e morfologias distintas, na região de confluência do rio Pequeno com o rio Iguaçu, junto também à Estação de Tratamento da Sanepar, Eta-Iguaçu.

A concepção parte do princípio que o aluvião depositado às margens do rio Iguaçu atua como um meio filtrante, já caracterizado, e, principalmente , como reservatório de fluxos aquosos que alimentam o sistema hidrográfico local.

No entantodadas as características de uso e ocupação das áreas onde foram elaborados os estudos do terreno, estas interferências externas ao sistema aquífero acabam por alterar estas funções. Para evitar a continuidade deste processo, o projeto piloto deverá prever o isolamento de um segmento da planície através de um sistema de diques , os quais deverão ocupar o traçado das estradas já implantadas, delimitando a área apresentada na Figura 34. Estas estradas não deixarão de existir , apenas deverão ter o seu *greide* elevado.

Para elaboração deste projeto as seguintes etapas deverão ser efetivadas:

1. Levantamento plani-altimétrico da área;
2. Sondagem a percussão com instalação de piezômetros, estimando-se profundidades médias de 6,0 m;



SISTEMA PILOTO DE MANEJO DAS CAVAS
PARA FINS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO.
(ADEQUAÇÃO GEOMÉTRICA, PASSAGEM E
CONTROLE LOCAL DE CHEIAS.)

FIG. 34

OBS.: OS DIQUES DE CONTENÇÃO DE CHEIAS PODERÃO SERVIR DE CAMINHOS DE SERVIÇO E ACESSO

3. Ensaaios de perda d'água abaixo e acima do nível d'água;
4. Estudos específicos dos diferentes materiais: capacidade de infiltração, permeabilidades do fundo e das laterais do sistema de recarga;
5. Duração da recarga;
6. Porosidade do aquífero;
7. Sondagens a trado com coleta de amostras;
8. Ensaaios granulométricos por peneiramento e sedimentação;.
9. Monitoramento do N.A;
10. Monitoramento da qualidade da água em todos os estágios previstos , desde a entrada desta no sistema até a sua saída;
11. Projeto dos diques de isolamento;
12. Projeto hidráulico para as cavas de interligação e sistemas de bombeamento;
13. Projeto paisagístico.

10.2 A UTILIZAÇÃO EM OUTROS PAÍSES

A utilização de aquíferos diferentemente do objetivo único de produção de água para consumo humano é um dos processos mais usuais em países como Alemanha, EUA, Espanha, Áustria e Inglaterra.

Desde 1936 , em Long Island, Nova Iorque, foram construídas bacias destinadas a colher água oriunda das chuvas e introduzi-las no solo para que fosse efetivada a recarga dos aquíferos mais profundos. Muitas destas bacias

eram minerações abandonadas de cascalho que foram requisitadas por urbanistas para armazenar a água em excesso, possuindo no total uma taxa de recarga de 231.000m^3 /dia (TODD, 1980). Em Peoria , Illinois, as minas abandonadas de areia e cascalho também são utilizadas como bacias de recarga.

Dados apresentados no livro “ÁGUA subterrânea e poços tubulares”,(1969), mostram que duas destas bacias, com área de aproximadamente 500 m^2 cada uma , cavadas com 3 m de profundidade abaixo do nível de barragem do rio, fazem chegar ao reservatório de água subterrânea aproximadamente $3.800.000\text{ m}^3$ de água durante uma única estação do ano.

CUSTÓDIO E LHAMAS (1976), descrevem que poços cavados em dunas aquíferas suprem as cidade de Amsterdã, Haia, Leiden, entre outras. A água de recarga é bombeada do rio Reno sendo levada mediante um canal de 53 km, construído em 1957. Esta água notavelmente contaminada na sua origem sofre um tratamento prévio de clarificação e cloração e depois é infiltrada nas dunas com o fim triplo de corrigir sua qualidade , obter um armazenamento temporário no terreno e controlar o processo de intrusão marinha.

Os poços funcionam somente durante os meses do inverno, enquanto que as bacias ficam secas durante o verão e o outono.

No livro “ÁGUA subterrânea e poços tubulares” citado acima também é descrito o fato de que durante o período de recarga a água do rio Reno contém de 100 a 200 bactérias coliformes por cm^3 e depois de se deslocar pelo aquífero arenoso, ao ser extraída dos poços , não contém nenhuma bactéria.

Na Califórnia , no Projeto SANTEE (PEAVY, 1985), águas residuais após sofrerem um primeiro tratamento são transferidas para um *canyon* e fluem

horizontalmente através de 1000 metros de areia e cascalho, antes de serem recuperadas. Estas águas então são direcionadas para circular através de uma série de três lagos, situados dentro de um parque público. Nos dois primeiros lagos é permitido pescar e andar de barco enquanto que no terceiro, após cloração, é permitida a natação.

11.0 CONCLUSÕES

Segundo a interpretação dos ensaios e dados produzidos os seguintes fatos foram concluídos:

■ A necessidade de matérias primas (areia e argila), para abastecimento da Indústria da Construção Civil na RCM, degradou de tal forma o meio físico (aluviões do rio Iraí), que o aquífero aluvionar da planície de inundação do rio Pequeno, nos dias de hoje, foi substituído, quase que totalmente, por um reservatório superficial representado pelas cavas existentes;

■ A degradação promovida, por outro lado, aumenta o volume armazenável, na área em estudo, com tendências de um incremento maior ainda devido a continuidade da exploração de argila e areia e sem possibilidades de um controle efetivo por parte dos órgãos fiscalizadores (IAP/SUCEAM);

■ Os aluviões do ponto de vista hidráulico apresentam uma interconexão direta com a drenagem de superfície, tornando-a influente na estiagem e efluente durante as cheias , funcionando como um sistema único;

■ Este condicionamento hidráulico , em termos práticos de manejo hídrico (manancial superficial/manancial subterrâneo), deve ser isolado por obras estruturais como um sistema de diques, por exemplo, permitindo o uso do volume armazenado nas cavas como reserva regularizadora dos cursos d'água durante a estiagem e minimizadora dos efeitos de enchentes durante as precipitações;

■ Os resquícios de camada aquífera não minerados, na posição de intercavas, assumem um papel mais importante como leitos filtrantes, do que como armazenadores e produtores d'água propriamente ditos. A descaracterização ambiental sofrida inviabilizou, praticamente, sua exploração através de métodos convencionais de captação, como poços tubulares, por exemplo. Em adição, as características de baixa transmissividade obtidas, mesmo que pontuais, revelam que o mesmo não poderia ser considerado como um reservatório passível de serem extraídas grandes vazões. Isto se deve não somente a heterogeneidade vertical do meio, mas a falta de porções arenosas significativas que não estejam sujeitas a contaminação por processos antropogênicos, além das inundações que assolam a região.

As conclusões obtidas na presente dissertação podem ser extrapoladas para toda a planície de inundação do Alto Iguaçu.

Isto posto, gostaria-se de apontar algumas reflexões sobre este trabalho e seus resultados.

Aos profissionais mais experientes, das diversas áreas ligadas à questão ambiental, a leitura deste trabalho talvez mostre muitos vazios existentes além da superficialidade com que foram tratados vários itens. Tais fatos se devem a total escassez de dados recentes e mesmo mais antigos sobre a geologia, a hidrogeologia e a geomorfologia, a respeito de uma região que vem abastecendo não só a cidade de Curitiba no setor da construção civil, mas também a população enquanto manancial de superfície há mais de 40 anos.

Ressalta-se que a área objeto desta pesquisa é considerada, como **área de risco ambiental**, sujeita a inundações e também era, no início da execução deste projeto, considerada como **área de proteção de manancial**. Tal situação

foi modificada, tendo sido revogada a lei que validava este fato em virtude da instalação do Distrito Industrial de São José dos Pinhais nesta região, onde deverá ser implantada a futura fábrica da RENAULT. Isto evidencia a limitadíssima "eficiência" governamental no sentido de arbitrar os conflitos sobre o meio ambiente.

Esta discussão, a cerca do grau de degradação do aquífero aluvionar e a proposição de um projeto alternativo de recuperação será a grande contribuição deste estudo, não por mérito de exclusivo de uma pessoa, mas sim de um conjunto de pessoas com visões não acadêmicas, cada uma na sua área de atuação, resultando sempre no objetivo de se tentar a melhoria das condições sociais e da qualidade de vida da população.

A situação calamitosa em que hoje se encontram as áreas de inundação do rio Pequeno e de toda a bacia do Iguaçu revela um quadro assustador de miséria e abandono governamental, onde as medidas são implantadas sem os devidos cuidados e sem que a população saiba seu verdadeiro custo em termos ambientais.

Por fim, recomenda-se que a planície aluvionar de toda a bacia do rio Iguaçu seja objeto de uma discussão ampla com a comunidade técnico-científica para que sejam geradas soluções para o quadro que hoje se apresenta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, Aziz N. ; BIGARELLA , João José.. Superfícies aplainadas do primeiro planalto do Paraná. Curitiba: Boletim Paranaense de Geografia , nº 4-5, p. 116-125, 1961.
- ÁGUA subterrânea e poços tubulares. [S. L]: Organização Pan Americana da Saúde,1969. 392 p.
- ARNT,Ricardo. Clara água,cara água. Super Interessante, v.9, n.5, p. 46-51, maio 1995.
- AS ENCHENTES de jul/83 e a busca de soluções. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Depto de Engenharia Civil, 1984.127 p.
- BAUER, Anthony M. Mineração planejada e reabilitação de áreas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE MINERAÇÃO EM ÁREAS URBANAS, São Paulo, 1989, Anais...São Paulo: Departamento Nacional de Produção Mineral, p. 51-54.
- BECKER, Rosemari Dora. Distribuição dos sedimentos cenozóicos na região metropolitana de Curitiba e sua relação com a estrutura geológica e morfologia regional. Porto Alegre,1982. Tese (doutorado).Instituto de Geociências, UFRGS.
- BIGARELLA, João José. ; SALAMUNI, Riad. Caracteres texturais dos sedimentos da bacia de Curitiba . Curitiba: Boletim da Universidade do Paraná, Geologia, n.7, 1962.
- BITTAR, Omar Yazebek ; BRAGA , Tânia de Oliveira. O meio físico na recuperação de áreas degradadas.In: CURSO de geologia aplicada ao meio ambiente . São Paulo: ABGE,1995, p. 165-179.
- BRANCO, Samuel Murgel. A água e o homem. In: HIDROLOGIA ambiental. São Paulo: ABRH, 1991, p 3-25.
- CLEARY,Robert. Hidrologia de águas subterrâneas.In: ENGENHARIA hidrológica. Rio de Janeiro: ABRH, 1989, p 293-403.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. Plano diretor de mineração da região metropolitana de Curitiba. Curitiba, 1991 .

CUSTÓDIO, E ; LLAMAS, M.R. Hidrologia subterrânea. Barcelona: Omega, 1976, 2v.

DALARMI, Osvaldo. Utilização futura dos recursos hídricos da região metropolitana de Curitiba. SANARE-Revista Técnica da Sanepar , Curitiba, v.4, n.4, p 31-43 , junho 1995.

FIORI, Alberto Pio. Lineamentos tectônicos e possíveis mineralizações no pré-Cambriano Paranaense. Curitiba: UFPR, 1985. 192 p.

FORTESCUE, John A. C. Environmental geochemistry. New York:Spring New York, 1980. 347 p.

FRITZ, Bertrand. Étude thermodynamique et modélisation des reactions hydrothermales et diagénétiques. In: Sciences Géologiques. Mém, nº 65, 1981. 200 p.

FUCK, R.A.; TREIN, E.; MURATORI, A. ; RIVEREAU, J.C. Mapa geológico preliminar do litoral, da Serra do Mar e parte do primeiro planalto do estado do Paraná. Curitiba: Boletim Paranaense de Geociências, n. 27, p.123-152, 1969.

GALLOWAY, E. W. ; HOBDAV, David K. Depositional systems and basin hidrology. In: _____. Terrigenous clastics deposicional systems. Application to petroleum, coal and uranum exploration. [New York: Springer, 1983. p 223-252.

HELGESON, H. C. e KIRKHAM, D.H. Theoretical prediction of the thermodynamics behavior of aqueous electrolytes at high pressures and temperatures. II Debye-Huckel parameters for activity coefficients and relative partial modal properties. American Journey Science., p. 1199-1261. 1974.

HEM, Jonh . Study and Interpretation of the chemical characteristics of natural water. Geological Survey Water-Supply , n. 1473, 1973.

HOFKES, E.H. ; VISSCHER, J.T. Artificial groundwater recharge for water supply of medium-size communities in developing countries. [S.L.]: International Reference Centre for Communitie Water Supply and Sanitation, 1986, 41 p.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO ESTADO DO PARANÁ. Mapa de solos do estado do Paraná. Curitiba: IAPAR, 1978. Escala. 1.600.000.

IPARDES. Zoneamento do litoral paranaense. Curitiba, 1989.

IPARDES. Cadastro de moradores em áreas de risco da região metropolitana de Curitiba. Curitiba, 1994.

JORNAL GAZETA DO POVO. Curitiba, 09 de julho de 1995.

LOPES, José Antonio Urroz. Nota explicativa da folha geológica de Curitiba. Curitiba: Boletim da Universidade Federal do Paraná. Geologia, 1966.

MINERAIS DO PARANÁ-MINEROPAR. Mapeamento geológico-geotécnico na região do Alto Iguaçu. Curitiba, setembro 1994.

MOREIRA - NORDEMANN, Lycia Maria. A geoquímica e o meio ambiente. Geoquímica Brasiliensis, n. 1, p. 89-107. 1987.

OLIVEIRA, José M.P et al. Considerações preliminares quanto à prospeção de áreas turfosas. Curitiba: Mineropar, 1981.

PAPADOPULOS, I.S. ; COOPER, H.H. Jr. Drawdown in a well of large diameter. Water Resource Research, n.3, p 241-244. 1967.

PASSOS, Everton et al. Compartimentação morfológica da região metropolitana de Curitiba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Belém, 6-13/11/1988. Resumos ... Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, p. 446. 1988.

PEAVY, Howard S.; ROWE, Donald ; TCHOBANOGLOUS, George. Environmental engineering. [S.L.]: McGraw-Hill, 1985. 323 p.

PROJETO final de engenharia: sub-trecho Ferrovia Planalto, Serra e Litoral - geologia_geral. Curitiba: R.F.F.S.A, 1977.

REBOUÇAS , Aldo da Cunha. Estágio atual dos conhecimentos sobre as águas subterrâneas no Brasil. Águas Subterrâneas, v. 2, n.1 , abril de 1980.

REBOUÇAS, Aldo da Cunha ; GASPARY, Jean. Ensaio de bombeamento. In: ELEMENTOS de hidrogeologia prática. Recife: Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, 1972. p 37-59.

RICHTER, Carlos.A, Tratamento de água: tecnologia atualizada. São Paulo: Edgard Blucher, 1991. 332 p.

SALAMUNI, Eduardo. Estudo da neotectônica da bacia de Curitiba: dados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Camboriú, 1994. Anais... Camboriú, Sociedade Brasileira de Geologia, 1994, v.1, p.565-566.

SALAMUNI, Riad. Geologia da água subterrânea na região metropolitana de Curitiba. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3, Curitiba, 1981. Anais... Curitiba, Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo de São Paulo, pag. 372 - 389.

SALAMUNI, Riad. Locação de poços tubulares profundos na região de São José dos Pinhais. Curitiba, 1994. (Relatório interno - HIDROTEC GEÓLOGOS CONSULTORES).

SCHAFER, Alois. Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais. Porto Alegre: Ed. da Universidade-UFRGS, 1984. 532 p.

SOUZA, Marcos F. de. Aproveitamento dos aquíferos aluvionares. Conceitos e metodologias básicas. Paraíba: Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais, 1985.

STUM, Werner ; MORGAN, James J. Aquatic chemistry. 2.ed. [S.L.]: John Wiley 1981, 583 p.

SUREHMA. Qualidade das águas do Estado do Paraná. Curitiba, 1987.

TÉCNICAS de abastecimento e tratamento de água. São Paulo: USP, 1974, Faculdade de Saúde Pública, v. 2, p.589-1000.

TODD, David Keith. Groundwater hidrology. 2.ed. John Wiley, 1980. 535 p.

TONETTI, JUAREZ B. Mapa integrado de ambientes com instabilidade potencial na bacia do Rio Pequeno São José dos Pinhais. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1993. (Monografia de especialização).

UMA, K.D. ; LOEHNERT,E.P. Hydraulic conductivity of shallow sandy aquifers: effects of sedimentologic and diagenetic difference. Environmental Geology, n. 23, p.171-181, 1994.